

**ОПИСАНИЕ  
ИЗОБРЕТЕНИЯ  
К ПАТЕНТУ**  
(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ  
СОБСТВЕННОСТИ

(19) ВУ (11) 24196

(13) С1

(46) 2024.02.28

(51) МПК

H 01Q 17/00 (2006.01)

(54) **СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ШИРОКОДИАПАЗОННОГО  
ПОГЛОТИТЕЛЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ  
И ШИРОКОДИАПАЗОННЫЙ ПОГЛОТИТЕЛЬ  
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ, ИЗГОТОВЛЕННЫЙ  
ЭТИМ СПОСОБОМ**

(21) Номер заявки: а 20220282

(22) 2022.11.10

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

(72) Авторы: Бойправ Ольга Владимировна; Лыньков Леонид Михайлович; Грабчиков Сергей Степанович; Труханов Алексей Валентинович; Мухуров Николай Иванович; Гасенкова Ирина Владимировна (ВУ)

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

(56) CN 106380626 В, 2019.

ВУ 23448 С1, 2021.

ВУ 18776 С1, 2014.

CN 111403922 А, 2020.

RU 2580408 С2, 2016.

RU 2657018 С1, 2018.

(57)

1. Способ изготовления широкодиапазонного поглотителя электромагнитного излучения, при котором изготавливают внутренний относительно фронта распространения электромагнитного излучения слой поглотителя, для чего на заготовку из меди, алюминия или сплавов на их основе, длина и ширина которой соответствуют длине и ширине изготавливаемого поглотителя, электроосаждают магнитный слой при температуре 30-35 °С, плотности тока 20-25 мА/см<sup>2</sup> и рН 2,4 с использованием никелевого анода и электролита, содержащего смесь взятых в массовом соотношении 15:2:3 следующих растворов: раствора, полученного смешиванием при температуре 50 °С дистиллированной воды, NiSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O и NiCl<sub>2</sub> · 6H<sub>2</sub>O в массовом соотношении 25:20:1, раствора, полученного смешиванием при температуре 80 °С дистиллированной воды и Н<sub>3</sub>ВО<sub>3</sub> в массовом соотношении 1:3, и раствора, полученного смешиванием дистиллированной воды, FeSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O, KNaC<sub>4</sub>H<sub>4</sub>O<sub>6</sub> · 4H<sub>2</sub>O и сахараина в массовом соотношении 100:15:30:1, изготавливают промежуточный слой поглотителя, для чего фрагмент алюминиевой фольги с размерами, совпадающими с размерами внутреннего слоя, подвергают химическому анодированию, после чего кипятят в дистиллированной воде, изготавливают наружный слой поглотителя, для чего смешивают полимерное связующее в жидкой фазе с порошкообраз-



Фиг. 1

ВУ 24196 С1 2024.02.28

ным активированным углем в объемном соотношении 2:1, равномерно заполняют полученной смесью форму, длина и ширина которой совпадают с длиной и шириной внутреннего и промежуточного слоев, а высота стенок составляет  $0,5 \pm 0,1$  см, выдерживают смесь в указанной форме до затвердевания и извлекают ее из формы, после чего с помощью распыляемого клея на поверхности внутреннего слоя закрепляют промежуточный слой, а на поверхности промежуточного слоя - наружный слой.

2. Способ по п. 1, **отличающийся** тем, что химическое анодирование проводят с использованием раствора серной, и/или щавелевой, и/или фосфорной кислоты.

3. Способ по п. 1, **отличающийся** тем, что полимерное связующее представляет собой силикон или полиуретановую мастику.

4. Широкодиапазонный поглотитель электромагнитного излучения, изготовленный способом по п. 1.

---

Изобретение относится к способам изготовления устройств, предназначенных для поглощения электромагнитного излучения, и может быть использовано для электромагнитного экранирования радиоэлектронных устройств, обеспечения электромагнитной совместимости радиоэлектронных устройств, а также для обеспечения информационной и экологической безопасности.

Известна углеродсодержащая композиция для радиозащитных материалов [1], включающая диспергатор в виде водного раствора натриевого жидкого стекла (8,0-15,0 мас. %), стабилизатор (2,0-6,0 мас. %), ультрадисперсный активный углерод (5,0-16,0 мас. %), воду (остальное).

Известен радиопоглощающий материал [2], содержащий полимерное связующее (40,0-60,0 мас. %), порошкообразный феррит (6,0-9,0 мас. %), частицы карбонильного железа, характеризующиеся сферической формой и диаметром 10,0-50,0 мкм (28,0-42,0 мас. %), смесь фуллеренов C-60 и C-70 (2,0-4,0 мас. %), углеродные нанотрубки, характеризующиеся диаметром от 10,0 нм до 0,1 мкм и длиной 10,0-100,0 мкм (4,0-5,0 мас. %).

Недостаток известной углеродсодержащей композиции для радиозащитных материалов [1] и радиопоглощающего материала [2] состоит в том, что они являются узкополосными.

Наиболее близким к предлагаемому изобретению является широкополосный радиопоглощающий материал [3], состоящий из нижнего слоя, поглощающего низкочастотные электромагнитные волны и изготовленного путем закрепления частиц FeSi или FeSiAl в полиуретановой матрице, характеризующегося многослойной структурой поверхностного слоя, поглощающего высокочастотные электромагнитные волны и изготовленного путем закрепления частиц карбонильного железа в матрице на основе смолы. Рабочий диапазон радиопоглощающего покрытия [3] - от 1,0 до 18,0 ГГц. Недостатком радиопоглощающего покрытия [3] являются низкая эффективность поглощения электромагнитного излучения в диапазоне частот от 10,0 Гц до 1,0 ГГц, что обусловлено отсутствием в его составе компонентов, обеспечивающих соответствующие потери энергии электромагнитного излучения в указанном диапазоне частот.

Задачей предлагаемого изобретения является повышение эффективности поглощения электромагнитного излучения в диапазоне частот от 10,0 Гц до 18,0 ГГц поглотителя электромагнитного излучения.

Указанная задача решается тем, что поглотитель электромагнитного излучения изготавливается в соответствии со способом, включающим в себя следующие этапы.

Этап 1. Изготовление внутреннего относительно фронта распространения электромагнитного излучения слоя поглотителя путем поочередной реализации следующих процессов.

# ВУ 24196 С1 2024.02.28

1. Формирование металлической заготовки из меди, алюминия или сплавов на их основе, длина и ширина которой определяются требованиями к длине и ширине изготавливаемого поглотителя электромагнитного излучения.

2. Электроосаждение магнитного слоя ( $\text{Fe}_{15-25}\text{Ni}_{85-75}$ ) на полученную металлическую заготовку при температуре 30,0-35,0 °С, плотности тока 20,0-25,0 мА/см<sup>2</sup>, рН ≈ 2,4 с использованием никелевого анода из электролита, получаемого путем реализации следующих подпроцессов.

2.1. Смешивание дистиллированной воды,  $\text{NiSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{NiCl}_2 \times 6\text{H}_2\text{O}$  в массовом соотношении 25:20:1 при условии нагревания получаемого в результате этого раствора до 50 °С (условное обозначение раствора - 1.1).

2.2. Смешивание дистиллированной воды и  $\text{H}_3\text{BO}_3$  в массовом соотношении 1:3 при условии нагревания получаемого в результате этого раствора до 80 °С (условное обозначение раствора - 1.2).

2.3. Смешивание дистиллированной воды,  $\text{FeSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \times 4\text{H}_2\text{O}$  и сахара в массовом соотношении 100:15:30:1 при стандартных условиях (условное обозначение получаемого в результате этого раствора - 1.3).

2.4. Смешивание растворов 1.1, 1.2 и 1.3 в массовом соотношении 15:2:3 и при необходимости корректировка рН полученного в результате этого электролита до значения ≈ 2,4 с помощью 25%-го раствора серной кислоты.

2.5. Фильтрация полученного электролита.

Этап 2. Изготовление промежуточного слоя поглотителя путем поочередной реализации следующих процессов.

1. Формирование фрагмента алюминиевой фольги, длина и ширина которого определяются требованиями к длине и ширине изготавливаемого поглотителя электромагнитного излучения.

2. Химическое обезжиривание (выщелачивание, обработка кислотой) поверхности сформированного фрагмента алюминиевой фольги.

3. Помещение сформированного фрагмента алюминиевой фольги в гальваническую ванну, заполненную раствором электролита (раствором серной, щавелевой или фосфорной кислоты), и выполнение химического анодирования этого фрагмента в течение 30-50 мин.

4. Извлечение сформированного фрагмента алюминиевой фольги из гальванической ванны по завершении процесса его анодирования.

5. Кипячение в дистиллированной воде извлеченного из гальванической ванны фрагмента алюминиевой фольги в течение 30-40 мин.

Этап 3. Изготовление наружного слоя поглотителя путем поочередной реализации следующих процессов.

1. Смешивание находящегося в жидкой фазе полимерного связующего вещества (силикон, полиуретановая мастика и т. п.) с порошкообразным активированным углем в объемном соотношении 2:1. Полученная в результате этого смесь должна характеризоваться жидкой фазой.

2. Равномерное заполнение полученной смесью формы, размеры которой совпадают с размерами внутреннего и промежуточного слоев, а высота стенок составляет  $0,5 \pm 0,1$  см.

3. Выдерживание полученной смеси в форме до момента ее перехода из жидкой фазы в твердую.

4. Извлечение смеси из формы.

Этап 4. Закрепление с помощью распыляемого клея на поверхности внутреннего слоя, изготовленного в результате реализации этапа 1, промежуточного слоя, изготовленного в результате реализации этапа 2.

Этап 5. Закрепление при помощи распыляемого клея наружного слоя, изготовленного в результате реализации этапа 3, на поверхности промежуточного слоя.

На фиг. 1 представлено схематическое изображение широкодиапазонного поглотителя электромагнитного излучения, изготовленного предложенным способом.

Широкодиапазонный поглотитель электромагнитного излучения, изготовленный предложенным способом, состоит из внутреннего относительно фронта распространения электромагнитного излучения слоя, изготовленного путем электроосаждения на медную заготовку магнитного слоя (1), промежуточного слоя, изготовленного путем химического анодирования фрагмента алюминиевой фольги (2), и наружного слоя, изготовленного путем формовки смеси полимерного связующего вещества (силикон, полиуретановая мастика и т. п.) и порошкообразного активированного угля (3).

Рабочий диапазон частот широкодиапазонного поглотителя электромагнитного излучения, изготовленного предложенным способом, - от 10,0 Гц до 18,0 ГГц. Поглощение энергии электромагнитного излучения в диапазоне частот от 10,0 Гц до 10,0 кГц обеспечивается внутренним слоем за счет наличия в нем слоя, изготовленного путем электроосаждения на медную заготовку магнитного слоя, характеризующегося высоким значением относительной магнитной проницаемости и магнитной индукции насыщения. Поглощение энергии электромагнитного излучения в диапазоне частот от 10,0 кГц до 0,7 ГГц обеспечивается промежуточным слоем и обусловлено его слоистой структурой (слой анодного оксида алюминия (диэлектрик) - слой алюминиевой фольги (проводник)). Поглощение энергии электромагнитного излучения в диапазоне частот от 0,7 ГГц до 18,0 ГГц обеспечивается поглотителем за счет наличия в нем слоя, изготовленного путем формовки смеси полимерного связующего вещества (силикон, полиуретановая мастика и т. п.) и порошкообразного активированного угля, на частицах которого рассеиваются электромагнитные волны, значение частоты которых принадлежит указанному диапазону. Широкодиапазонный поглотитель электромагнитного излучения, изготовленный предложенным способом, по сравнению с прототипом характеризуется расширенным рабочим диапазоном частот за счет того, что в состав этого поглотителя входит слой, изготовленный путем электроосаждения на медную заготовку магнитного слоя, а также характеризующийся слоистой структурой слой, изготовленный путем химического анодирования фрагмента алюминиевой фольги.

Определенная очередность слоев широкодиапазонного поглотителя электромагнитного излучения относительно фронта распространения электромагнитного излучения, изготовленного предложенным способом, обусловлена тем, что ей соответствуют наибольшие значения коэффициента поглощения электромагнитного излучения в рабочем диапазоне частот этого поглотителя, которые прямо пропорциональны значениям эффективности поглощения электромагнитного излучения.

На фиг. 2 представлены полученные с помощью экспериментально-расчетных методов частотные зависимости коэффициента поглощения электромагнитного излучения, характерные для:

радиопоглощающего покрытия [3] (кривая 1\*);

широкодиапазонного поглотителя электромагнитного излучения, изготовленного предложенным способом (кривая 2\*);

поглотителя электромагнитного излучения, изготовленного предложенным способом при условии, что внутренний слой изготовлен в соответствии с этапом 2 предложенного способа, а промежуточный и наружный - в соответствии с этапами 1 и 3 соответственно (кривая 3\*);

поглотителя электромагнитного излучения, изготовленного предложенным способом при условии, что внутренний слой изготовлен в соответствии с этапом 1 предложенного способа, промежуточный и наружный - в соответствии с этапами 3 и 2 соответственно, и поглотителя электромагнитного излучения, изготовленного предложенным способом при условии, что внутренний слой изготовлен в соответствии с этапом 3 предложенного спо-

соба, промежуточный и наружный - в соответствии с этапами 1 и 2 соответственно (кривая 4\*);

поглотителя электромагнитного излучения, изготовленного предложенным способом при условии, что внутренний слой изготовлен в соответствии с этапом 3 предложенного способа, промежуточный и наружный - в соответствии с этапами 2 и 1 соответственно, и поглотителя электромагнитного излучения, изготовленного предложенным способом при условии, что внутренний слой изготовлен в соответствии с этапом 2 предложенного способа, промежуточный и наружный - в соответствии с этапами 3 и 1 соответственно (кривая 5\*).

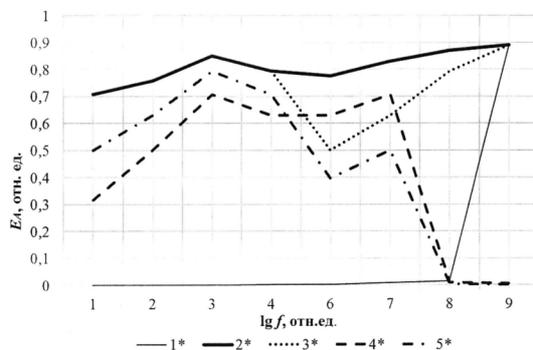
Из представленных на фиг. 2 зависимостей видно следующее:

широкодиапазонный поглотитель электромагнитного излучения, изготовленный предложенным способом, характеризуется более высокими значениями эффективности поглощения электромагнитного излучения в диапазоне частот от 10,0 Гц до 18,0 ГГц по сравнению с прототипом;

выбранной очередности расположения слоев в широкодиапазонном поглотителе электромагнитного излучения, изготовленном предложенным способом, соответствуют наибольшие значения эффективности поглощения электромагнитного излучения в рабочем диапазоне частот этого поглотителя по сравнению со значениями аналогичного параметра, соответствующими альтернативным очередностям расположения слоев.

Источники информации:

1. RU 2519244, 2014.
2. RU 2482149, 2013.
3. CN 106380626B, 2017.



Фиг. 2