



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

G01F 1/10 (2020.08); C09D 5/32 (2020.08); H01Q 17/00 (2020.08); B82Y 30/00 (2020.08)

(21)(22) Заявка: 2019145199, 25.12.2019

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
25.12.2019

Дата регистрации:
19.02.2021

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 25.12.2019

(45) Опубликовано: 19.02.2021 Бюл. № 5

Адрес для переписки:

720000, Кыргызская Рес., г. Бишкек, ул.
Киевская, 44, КРСУ, Отдел интеллектуальной
собственности, каб. 214, Карпушевич Светлана
Витальевна

(72) Автор(ы):

Молдосанов Камиль Абдикеримович (KG),
Лелевкин Валерий Михайлович (KG)

(73) Патентообладатель(и):

Государственное образовательное
учреждение высшего профессионального
образования Кыргызско-Российский
Славянский университет (КРСУ) (KG)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2375395 C1, 10.12.2009. RU
2470425 C1, 20.12.2012. RU 2369947 C2,
10.10.2009. RU 2410777 C1, 27.01.2011. US
6521150 B1, 18.02.2003.

(54) ШИРОКОПОЛОСНОЕ РАДИОПОГЛОЩАЮЩЕЕ КОМПОЗИТНОЕ ПОКРЫТИЕ

(57) Реферат:

Изобретение относит к широкополосным радиопоглощающим композитным покрытиям и может быть использовано для изготовления материалов, применяемых для поглощения электромагнитных волн в объектах наземной, авиационной, космической и морской техники для снижения их радиолокационной заметности, а также для поглощения электромагнитного излучения в экранирующих устройствах, в поглощающих облицовках и корпусах, в безэховых измерительных камерах и в средствах защиты населения от неионизирующих излучений. Широкополосное радиопоглощающее композитное покрытие содержит радиопрозрачное связующее и наполнитель, наполнитель выполнен из наночастиц алюминия или его сплавов, причем содержание наполнителя в широкополосном радиопоглощающем

композитном покрытии составляет 30-60 об.%, остальное - радиопрозрачное связующее, а диаметр наночастиц равен толщине скин-слоя в алюминии или алюминиевом сплаве на максимальной поглощаемой частоте, при этом энергия фотонов максимальной поглощаемой частоты не превышает полуширины на половине максимума распределения продольных фононов по энергиям в алюминии или алюминиевом сплаве. Изобретение направлено на снижение удельного веса широкополосного радиопоглощающего композитного покрытия, повышение эффективности поглощения радиоволнового излучения и увеличение ширины полосы поглощаемых частот радиоволнового излучения от минимальной частоты 10 МГц до максимальной частоты 700 ГГц. 3 з.п. ф-лы, 1 табл., 1 ил.



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.

G21F 1/10 (2006.01)*C09D 5/32* (2006.01)*H01Q 17/00* (2006.01)*B82Y 30/00* (2011.01)(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC

G01F 1/10 (2020.08); C09D 5/32 (2020.08); H01Q 17/00 (2020.08); B82Y 30/00 (2020.08)(21)(22) Application: **2019145199, 25.12.2019**(24) Effective date for property rights:
25.12.2019Registration date:
19.02.2021

Priority:

(22) Date of filing: **25.12.2019**(45) Date of publication: **19.02.2021** Bull. № 5

Mail address:

**720000, Kyrgyzskaya Res., g. Bishkek, ul.
Kievskaya, 44, KRSU, Otdel intellektualnoj
sobstvennosti, kab. 214, Karpushevich Svetlana
Vitalevna**

(72) Inventor(s):

**Moldosanov Kamil Abdikerimovich (KG),
Lelevkin Valerij Mikhajlovich (KG)**

(73) Proprietor(s):

**Gosudarstvennoe obrazovatelnoe uchrezhdenie
vysshego professionalnogo obrazovaniya
Kyrgyzsko-Rossijskij Slavyanskij universitet
(KRSU) (KG)**

(54) **BROADBAND RADAR ABSORBENT COMPOSITE COATING**

(57) Abstract:

FIELD: physics.

SUBSTANCE: invention relates to broadband radar absorbent composite coatings and can be used for making materials used to absorb electromagnetic waves in objects of ground, aircraft, space and marine equipment to reduce their radar visibility, as well as for absorption of electromagnetic radiation in screening devices, in absorbing facing and housings, in anechoic measuring chambers and in means of protecting population from non-ionizing radiations. Wide-space radar absorbent composite coating contains radiotransparent binder and filler, filler is made of aluminum or its alloys nanoparticles, wherein content of filler in wideband radar-absorbent composite coating

is 30–60 vol. %, balance is radio-transparent binder, and diameter of nanoparticles is equal to thickness of skin layer in aluminum or aluminum alloy at maximum absorbed frequency, wherein photon energy of maximum absorbed frequency does not exceed half-width at half maximum of distribution of longitudinal phonons by energy in aluminum or aluminum alloy.

EFFECT: invention is aimed at reduction of specific weight of broadband radar absorbent composite coating, high efficiency of absorbing radio-wave radiation and high width of the band of absorbed frequencies of radio-wave radiation from a minimum frequency of 10 MHz to a maximum frequency of 700 GHz.

4 cl, 1 tbl, 1 dwg

Изобретение относится к материалам для поглощения электромагнитных волн в объектах наземной, авиационной, космической, и морской техники с целью снижения их радиолокационной заметности, а также для поглощения электромагнитного излучения в экранирующих устройствах, в поглощающих облицовках и корпусах, в безэховых измерительных камерах и в средствах защиты населения от неионизирующих излучений.

Актуальность изобретения обусловлена появлением в последнее время радио-фотонных радаров, работающих в чрезвычайно широком диапазоне радиочастот - от десятков МГц до сотен ГГц, что требует радиопоглощающих покрытий для этого диапазона.

Известен композиционный радиопоглощающий материал (патент РФ №2380867, С1, кл. Н05К 9/00, 27.01.2010), содержащий порошкообразный наполнитель на основе феррита и полимерное связующее, представляющее собой материал, содержащий смесь бариевого гексагонального феррита, легированного ионами скандия, с дисперсностью от 5 до 50 мкм с добавлением углеродных нанотрубок.

Недостатком известного композиционного радиопоглощающего материала является повышенный удельный вес из-за большого удельного веса феррита.

Известно также радиопоглощающее покрытие для антенн (патент РФ №2369947, С1, кл. Н01Q 1/38, 10.10.2009), содержащее карбонильное железо и полимерное связующее, выполненное однослойным, а в качестве полимерного связующего

использован эпоксидный эластомер с отвердителем.

Недостатком известного радиопоглощающего покрытия является повышенный удельный вес из-за большого удельного веса карбонильного железа.

Известен антирадарный материал (патент РФ №2300832, С2, кл. Н01Q 17/00, 10.06.2007), содержащий полимерное связующее и порошкообразный наполнитель, в котором в качестве наполнителя использована смесь карбонильного железа, феррита и фуллерена.

Недостатком известного антирадарного материала является повышенный удельный вес из-за большого удельного веса карбонильного железа и феррита.

За прототип выбран композиционный материал для поглощения электромагнитных волн (патент РФ №2375395, С1, кл. С09D 5/32, Н01Q 17/00, 10.12.2009), содержащий полимерное диэлектрическое связующее, представляющее собой полиорганосилоксановый олигомер с добавкой катализатора, и магнитодиэлектрический тонкодисперсный наполнитель, выполненный из сплава железо-алюминий при соотношении (87,5-88,5):(12,5-11,5) вес. %, соответственно, при следующем соотношении исходных компонентов в композиционном материале, вес. %: полиорганосилоксановый олигомер - 33,5-40,0; катализатор - 1,5-2,0; магнитодиэлектрический тонкодисперсный наполнитель - 65-58.

Недостатками композиционного материала для поглощения электромагнитных волн являются ограниченные функциональные возможности, обусловленные высоким удельным весом, так как тонкодисперсный наполнитель выполнен из сплава с высоким содержанием железа, а также недостаточно широкий рабочий диапазон частот ($\approx 1,7$ - 95 ГГц), что не обеспечивает защиту объектов в рабочем диапазоне радиоволновых радаров.

Техническая задача изобретения - расширение функциональных возможностей композиционного материала для поглощения электромагнитных волн, а именно: снижение удельного веса широкополосного радиопоглощающего композитного покрытия, повышение эффективности поглощения радиоволнового излучения и увеличение ширины полосы поглощаемых частот радиоволнового излучения

(минимальная частота 10 МГц, максимальная частота 700 ГГц).

Поставленная техническая задача решается за счет того, что в широкополосном радиопоглощающем композитном покрытии, содержащем радиопрозрачное связующее и наполнитель, наполнитель выполнен из наночастиц алюминия или его сплавов, причем содержание наполнителя в широкополосном радиопоглощающем композитном покрытии составляет 30-60 об. %, остальное радиопрозрачное связующее, а диаметр наночастиц равен толщине скин-слоя в алюминии или алюминиевом сплаве на максимальной поглощаемой частоте радиоизлучения, энергия фотонов которой не превышает полуширины на половине максимума (ПШПМ) распределения продольных фононов по энергиям в алюминии или алюминиевом сплаве.

В качестве алюминиевого сплава используют сплав алюминия с примесью марганца.

В качестве алюминиевого сплава используют сплав алюминия с примесью хрома.

В качестве алюминиевого сплава используют сплав алюминия с примесью ванадия.

Выполнение наполнителя из наночастиц алюминия или алюминиевого сплава уменьшает удельный вес широкополосного радиопоглощающего композитного покрытия, так как алюминий и его сплавы обладают низким удельным весом ($\approx 2,7 \text{ г/см}^3$), то есть в 2,9 раз меньше удельного веса железа ($\approx 7,9 \text{ г/см}^3$), используемого в прототипе изобретения в виде сплава железо-алюминий с большим содержанием железа - с соотношением (87,5-88,5):(12,5-11,5) вес. %.

Выполнение наполнителя из наночастиц алюминия или алюминиевого сплава также повышает эффективность поглощения радиоизлучения потому, что позволяет реализовать две схемы поглощения фотонов радиоизлучения, действующих одновременно:

(1) схему непосредственного поглощения, осуществимую благодаря неопределенности в импульсе фермиевских электронов, которая обусловлена малыми размерами наночастицы алюминия или алюминиевого сплава. Согласно оценкам, схема непосредственного поглощения фотона радиоизлучения фермиевским электроном осуществима при диаметре наночастиц меньше или около 460 нм, что имеет место в выбранном нами случае, в котором диаметр наночастицы равен $\approx 100 \text{ нм}$ (см. ниже). Оценки также показывают, что схема непосредственного поглощения позволяет поглощать радиоизлучение в диапазоне частот $\approx 14\text{-}700 \text{ ГГц}$. Релаксация возбужденного электрона в этой схеме происходит путем рассеяния возбужденного электрона на других электронах;

(2) схему опосредованного поглощения - с участием доминирующего продольного фонона (фонона, имеющего энергию вблизи пика распределения продольных фононов по энергиям). В этой схеме фермиевский электрон возбуждается, поглощая одновременно фотон радиоизлучения и доминирующий продольный фонон, а релаксирует, возбуждая вторичный продольный фонон из области ПШПМ, где фононов много, что повышает вероятность релаксации и благодаря этому - повышает интенсивность поглощения радиоволнового излучения. Согласно оценкам, схема с участием доминирующего продольного фонона позволяет поглощать радиоизлучение в диапазоне частот $\approx 10 \text{ МГц-}700 \text{ ГГц}$.

Выполнение наполнителя из наночастиц алюминиевого сплава с примесями ванадия, марганца и хрома дополнительно повышает эффективность поглощения благодаря тому, что в них, вблизи атомов марганца, хрома или ванадия, локально повышена плотность состояний электронов в окрестности уровня Ферми. Поэтому в них возрастает частота актов поглощения фотонов радиоволнового излучения с возбуждением фермиевских электронов и с последующим их более интенсивным рассеянием - либо с

диссипацией энергии приобретенной от фотонов (путем многократного рассеяния на электронах), -либо за счет возбуждения продольных фононов.

Выбор диаметра наночастиц равным толщине скин-слоя алюминия или алюминиевого сплава на максимальной поглощаемой частоте радиоизлучения (700 ГГц):

5 а) обеспечивает широкую полосу поглощаемых частот радиоизлучения (≈ 10 МГц - 700 ГГц), поскольку толщина скин-слоя на меньших частотах больше толщины скин-слоя на максимальной частоте, поэтому радиоизлучение меньших частот также проникает в объем наночастицы, и все фермиевские электроны наночастицы участвуют в процессе поглощения, что повышает эффективность использования наночастиц;

10 б) позволяет реализовать схему поглощения радиоизлучения с участием продольных фононов, распространяющихся вдоль диаметра наночастицы: поскольку толщина скин-слоя в алюминии или алюминиевых сплавах на максимальной поглощаемой частоте 700 ГГц равна ≈ 100 нм, то диаметр наночастиц, равный ≈ 100 нм, оказывается существенно больше длины волны продольных фононов из области ПШПМ, $\approx 0,29$ нм, что обеспечивает распространение продольных фононов вдоль диаметра наночастицы;

15 в) обеспечивает непрерывность полосы (≈ 10 МГц - 700 ГГц) поглощаемых частот радиоизлучения - благодаря тому, что у наночастицы диаметром ≈ 100 нм вследствие соотношений неопределенностей Гейзенберга неопределенность в энергии электронных уровней ($\approx 13,4$ мэВ) намного превышает величину зазора между энергетическими
20 уровнями как электронов ($\approx 5 \cdot 10^{-4}$ мэВ), так и продольных фононов в области ПШПМ ($\approx 0,1$ мэВ). Благодаря этому возбужденный электрон не «замечает» дискретности уровней продольных фононов в области ПШПМ, и релаксация возбужденного электрона всегда обеспечена;

25 г) определяет положение полосы поглощаемых частот радиоизлучения (≈ 10 МГц - 700 ГГц; или в энергетических единицах: $4,1 \cdot 10^{-5}$ - 2,9 мэВ) ниже уровня Ферми алюминия или алюминиевого сплава - в пределах области естественного теплового размытия ниже уровня Ферми (ширина этой области: $\approx kT/2 \approx 12,5$ мэВ, где k - постоянная Больцмана, а T - температура наночастицы, здесь принято $T=300$ К).

30 В наночастице алюминия или алюминиевого сплава, в распределении продольных фононов по энергиям, количественно доминируют фононы с энергиями $\approx 30,6$ -37,6 мэВ; таким образом, ПШПМ, равная $0,5 \cdot (37,6-30,6)$ мэВ=3,5 мэВ, превышает диапазон энергий поглощаемых фотонов $4,1 \cdot 10^{-5}$ -2,9 мэВ, что и обеспечивает эффективное поглощение всего диапазона радиоизлучения с частотами ≈ 10 МГц - 700 ГГц.

35 За минимальное содержание наполнителя в широкополосном радиопоглощающем композитном покрытии принята величина в 30 об. %. Меньшее содержание наполнителя может ухудшить поглощательные качества широкополосного радиопоглощающего композитного покрытия. За максимальное содержание наполнителя в широкополосном радиопоглощающем композитном покрытии принята величина в 60 об. %. Содержание
40 наполнителя, превышающее 60 об. %, может ухудшить прочностные качества широкополосного радиопоглощающего композитного покрытия. (Теоретически возможное максимальное содержание наполнителя в широкополосном радиопоглощающем композитном покрытии равно 74 об. %, оно относится к предельному случаю гексагональной плотнейшей упаковки наночастиц).

45 Широкополосное радиопоглощающее композитное покрытие иллюстрируется чертежом (Фиг. 1), где изображен общий вид материала в разрезе. Широкополосное радиопоглощающее композитное покрытие состоит из радиопрозрачного связующего 1 и наночастиц алюминия или алюминиевого сплава 2.

Широкополосное радиопоглощающее композитное покрытие по схеме непосредственного поглощения работает следующим образом. Фотон радиоволнового излучения с энергией $h\nu$ в диапазоне $5,8 \cdot 10^{-2}$ -2,9 мэВ, (соответствующие частоты: ≈ 14 -700 ГГц) проходит сквозь радиопрозрачное связующее 1 и, достигнув наночастицы 2, возбуждает в ней электрон с уровня E из области теплового размытия уровня Ферми (шириной kT) на уровень $E+h\nu$. При этом выполнение закона сохранения импульсов обеспечивается благодаря неопределенности в импульсе электрона. Далее возбужденный электрон релаксирует путем рассеяния на электронах или границе наночастицы (он не сможет покинуть наночастицу, так как работа выхода алюминия и его сплавов $\approx 4,25$ эВ и превышает энергию $h\nu$, приобретенную электроном при возбуждении). Таким образом, происходит диссипация энергии, полученной от фотона радиоизлучения - превращение ее в теплоту. В результате отраженное радиоволновое излучение отсутствует и, соответственно, радиолокационная заметность снижается.

Широкополосное радиопоглощающее композитное покрытие по схеме опосредованного поглощения работает следующим образом. Фотон радиоволнового излучения с энергией $h\nu$ в диапазоне $4,1 \cdot 10^{-5}$ -2,9 мэВ, (соответствующие частоты: ≈ 10 МГц-700 ГГц) проходит сквозь радиопрозрачное связующее 1 и, достигнув наночастицы 2, поглощается в ней одновременно с доминирующим продольным фоном с энергией E' , возбуждая электрон, находящийся на энергетическом уровне $(E_F-h\nu)$, на уровень (E_F+E') , где E_F - энергия уровня Ферми. Далее возбужденный электрон релаксирует, переходя с уровня (E_F+E') на уровень $(E_F-h\nu)$ и возбуждая в наночастице вторичный продольный фон с энергией $(E'+h\nu) > E'$ распространяющийся вдоль диаметра наночастицы (этому благоприятствует то, что диаметр наночастицы, равный ≈ 100 нм, существенно больше длины волны продольных фононов из области ПШПМ, $\approx 0,29$ нм). В результате, наночастица 2 через посредничество вторичного продольного фонона преобразовывает энергию фотона $h\nu$ в теплоту. Как следствие, отражение фотона радиоволнового излучения отсутствует, и поэтому отражательная способность широкополосного радиопоглощающего композитного покрытия низка.

Использование предлагаемого широкополосного радиопоглощающего композитного покрытия обеспечит эффективное поглощение радиоволнового излучения в широком диапазоне радиоволнового диапазона (≈ 10 МГц - 700 ГГц).

Широкополосное радиопоглощающее композитное покрытие может быть выполнено в виде аэрозольной краски на основе известного пропеллента. Оно может быть использовано в различных вариантах нанесения: непосредственно на защищаемый объект, на основание из радиопрозрачной ткани с одной или двух сторон, на основание из нескольких слоев радиопрозрачной ткани - с одной или обеих сторон каждого слоя ткани; причем радиопрозрачная ткань может быть выполнена из арамидного волокна или стекловолокна.

Таблица 1. ПРИМЕРЫ РЕАЛИЗАЦИИ ШИРОКОПОЛОСНОГО РАДИОПОГЛОЩАЮЩЕГО КОМПОЗИТНОГО ПОКРЫТИЯ

№ п/п	Материал наполнителя	Химический состав материала наполнителя, мас. %	Радиопрозрачное связующее
1	Алюминий АД000 ГОСТ 4784-97	Al – 99,8%	Полимерное связующее 30-60 об. %
2	Алюминий АД000 ГОСТ 4784-97	Al – 99,8%	Лак БТ-577 ГОСТ 5631-79 – 30-60 об. %
3	Алюминий АД000 ГОСТ 4784-97	Al – 99,8%	Синтетический клей "Элатон" на основе латекса 30-60 об. %
4	Алюминиевый сплав АМц ГОСТ 4784-97	Mn – 1,0-1,5%, Al – основа	Полимерное связующее 30-60 об. %
5	Алюминиевый сплав АМц ГОСТ 4784-97	Mn – 1,0-1,5%, Al – основа	Лак БТ-577 ГОСТ 5631-79 – 30-60 об. %
6	Алюминиевый сплав АМц ГОСТ 4784-97	Mn – 1,0-1,5%, Al – основа	Синтетический клей "Элатон" на основе латекса 30-60 об. %
7	Алюминиевый сплав 01419	Cr – 1,2-1,6%, Al – основа	Полимерное связующее 30-60 об. %
8	Алюминиевый сплав 01419	Cr – 1,2-1,6%, Al – основа	Лак БТ-577 ГОСТ 5631-79 – 30-60 об. %
9	Алюминиевый сплав 01419	Cr – 1,2-1,6%, Al – основа	Синтетический клей "Элатон" на основе латекса 30-60 об. %
10	Алюминий-ванадиевый сплав	V – 1,2-2,0%, Al – основа	Полимерное связующее 30-60 об. %
11	Алюминий-ванадиевый сплав	V – 1,2-2,0%, Al – основа	Лак БТ-577 ГОСТ 5631-79 – 30-60 об. %
12	Алюминий-ванадиевый сплав	V – 1,2-2,0%, Al – основа	Синтетический клей "Элатон" на основе латекса 30-60 об. %

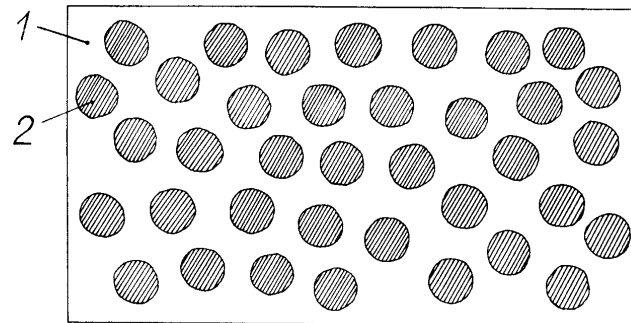
(57) Формула изобретения

1. Широкополосное радиопоглощающее композитное покрытие, содержащее радиопрозрачное связующее и наполнитель из наночастиц алюминия или алюминиевого сплава, причем содержание наполнителя в широкополосном радиопоглощающем композитном покрытии составляет 30-60 об. %, остальное - радиопрозрачное связующее, отличающееся тем, что диаметр наночастиц алюминия или алюминиевого сплава равен толщине скин-слоя в алюминии или алюминиевом сплаве на максимальной поглощаемой частоте радиоизлучения, при этом энергия фотонов максимальной поглощаемой частоты не превышает полуширины на половине максимума распределения продольных фононов по энергиям в алюминии или алюминиевом сплаве.

2. Широкополосное радиопоглощающее композитное покрытие по п. 1, отличающееся тем, что в качестве алюминиевого сплава используют сплав алюминия с примесью марганца.

3. Широкополосное радиопоглощающее композитное покрытие по п. 1, отличающееся тем, что в качестве алюминиевого сплава используют сплав алюминия с примесью хрома.

4. Широкополосное радиопоглощающее композитное покрытие по п. 1, отличающееся тем, что в качестве алюминиевого сплава используют сплав алюминия с примесью ванадия.



Фиг. 1