



(19) **KG** (11) **1661** (13) **C1**  
(51) **C09D 5/32** (2014.01)  
**H01Q 17/00** (2014.01)

ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЛУЖБА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ  
И ИННОВАЦИЙ ПРИ ПРАВИТЕЛЬСТВЕ КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ** к патенту Кыргызской Республики под ответственность заявителя (владельца)

(21) 20130063.1

(22) 16.07.2013

(46) 29.08.2014. Бюллетень № 8

(71) Кыргызско - Российский Славянский университет (KG)

(72) Молдосанов К. А. (KG)

(73) Кыргызско - Российский Славянский университет (KG)

(56) Патент RU № 2363714, C09D 5/32, H01Q 17/00, 2009

**(54) Широкополосное электромагнитное поглощающее покрытие**

(57) Изобретение относится к электромагнитным поглощающим покрытиям, предназначенным для поглощения электромагнитного излучения 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.

Задачей изобретения является расширение полосы частот поглощения поглощающего покрытия.

Поставленная задача решается в широкополосном электромагнитном поглощающем покрытии, содержащем основание из, по меньшей мере, одного слоя арамидной высокомодульной ткани типа кевлар с нанесённой на него с одной или обеих сторон поглощающей плёнкой, выполненной из радиопрозрачного материала, содержащего наночастицы никеля или медно-никелевого сплава, где размер наночастиц определяют по формуле:

$$D \approx k \cdot [(W/E_{\text{эм}}) + I]^{1/3},$$

где  $D$  - диаметр наночастицы (нм),

$k = 3^{1/2} \cdot 4^{1/3}$   $\alpha$  - постоянная величина,

где  $\alpha$  - период решётки никеля или медно-никелевого сплава (нм);

$W$  - ширина зоны  $d$ -электронов в никеле или медно-никелевом сплаве,

$E_{\text{эм}}$  - энергия вибрационной моды (мэВ), доминирующей в плотности состояний вибрационных мод в никеле или медно-никелевом сплаве.

1 н. п. ф., 5 фиг.

Изобретение относится к электромагнитным поглощающим покрытиям, предназначенным для поглощения электромагнитного излучения 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.

Известные электромагнитные поглощающие покрытия основаны на способности поглощения падающего излучения мелкодисперсными составляющими: кластерами ферромагнитных частиц, ферритов и гидрогенизированного углерода.

Известно радиопоглощающее покрытие и способ его получения (патент RU № 2228565, Н01Q 17/00, 2004), включающее основу из, по меньшей мере, одного слоя переплетённых арамидных высокомодульных нитей с нанесённой на нити вакуумным напылением, плёнкой из гидрогенизированного углерода с вкрапленными в него ферромагнитными кластерами.

Недостатком радиопоглощающего покрытия является низкая эффективность защиты при полосе частот поглощения выше 80 ГГц.

За прототип выбрано электромагнитное поглощающее покрытие (патент RU № 2363714, С09D 5/32, Н01Q 17/00, 2009), содержащее два и более слоёв арамидной высокомодульной ткани типа кевлар с нанесённой на неё поглощающей плёнкой, где на арамидную ткань с двух сторон нанесена плёнка, причём на один слой ткани - плёнка из напылённого феррита с вкрапленными в него наноразмерными кластерами металлов Ni и Co, а на другой слой ткани - плёнка из напылённого гидрогенизированного углерода с вкрапленными в него наноразмерными кластерами металлов Ni и Co.

Недостатком данного поглощающего покрытия, выбранного за прототип, является узкая полоса частот поглощения: нижняя граница:  $\approx 6 \text{ ГГц}$ ; верхняя граница:  $\approx 80 \text{ ГГц}$ , что сужает область его применения и обеспечивает защиту объектов в более широком диапазоне радиочастот (РЧ) излучения, а также в терагерцевом диапазоне.

Задачей изобретения является расширение полосы частот поглощения поглощающего покрытия.

Поставленная задача решается в широкополосном электромагнитном поглощающем покрытии, содержащем основание из, по меньшей мере, одного слоя арамидной высокомодульной ткани типа кевлар с нанесённой на него с одной или обеих сторон поглощающей плёнкой, выполненной из радиопрозрачного материала, содержащего наночастицы никеля или медно-никелевого сплава, где размер наночастиц определяют по формуле:

$$D \approx k \cdot [(W/E_{\text{эм}}) + 1]^{1/3},$$

где  $D$  - диаметр наночастицы ( $\text{нм}$ ),

$$k = 3^{1/2} \cdot 4^{-1/3} \alpha$$

- постоянная величина,

где  $\alpha$  - период решётки никеля или медно-никелевого сплава ( $\text{нм}$ );

$W$  - ширина зоны  $d$ -электронов в никеле или медно-никелевом сплаве,

$E_{\text{эм}}$  - энергия вибрационной моды ( $\text{мэВ}$ ), доминирующей в плотности состояний вибрационных мод в никеле или медно-никелевом сплаве.

В наночастице никеля или медно-никелевого сплава с размером, определённым по формуле (1), за счёт квантования энергетических уровней электронов происходит поглощение кванта РЧ-излучения, когда зазор  $\Delta E$  между электронными уровнями равен сумме энергии  $h\nu$  кванта РЧ-излучения и энергии вибрационной моды  $E_{\text{эм}}$ :  $\Delta E = h\nu + E_{\text{эм}}$ . В этих условиях квант излучения взаимодействует с вибрационной модой с энергией  $E_{\text{эм}}$  (поглощает её) и возбуждает электрон наночастицы с уровень  $E'$  на уровень  $E' + h\nu + E_{\text{эм}}$ . Далее возбуждённый электрон рассеивается на границе наночастицы возбуждает в ней вибрационную моду с энергией  $h\nu + E_{\text{эм}} > E_{\text{эм}}$ . В результате, наночастица поглощает энергию  $h\nu$  и преобразует её в теплоту, то есть отражения кванта РЧ-излучения не происходит, и отражательная способность поверхности с нанесённым покрытием снижается.

Диаметр  $D$  ( $\text{нм}$ ) наночастицы никеля или медно-никелевого сплава зависит от величины зазора  $\Delta E$  ( $\text{мэВ}$ ) следующим образом:  $D \approx k \cdot [(W/\Delta E) + 1]^{1/3}$ , где  $k = 3^{1/2} 4^{-1/3} \alpha$  - постоянная величина,  $\alpha$  - период решётки никеля или медно-никелевого сплава ( $\text{нм}$ ),  $W$  - ширина зоны  $d$ -электронов в никеле или медно-никелевом сплаве. В РЧ-диапазоне энергия  $h\nu \ll E_{\text{эм}}$ , поэтому  $\Delta E = h\nu + E_{\text{эм}} \approx E_{\text{эм}}$ , а диаметр наночастицы  $D$  ( $\text{нм}$ ), в которой численно доминирует вибрационная мода с энергией  $E_{\text{эм}}$  ( $\text{мэВ}$ ), равен  $D \approx k \cdot [(W/E_{\text{эм}}) + 1]^{1/3}$ .

В распределении вибрационных мод по энергии в наночастице никеля количественно доминируют моды с энергиями в полосе  $\approx 15\text{-}40 \text{ мэВ}$ , а в наночастице медно-никелевого сплава - моды с энергиями в полосе  $\approx 13\text{-}40 \text{ мэВ}$ . В никеле и медно-никелевом сплаве ширина зоны  $d$ -электронов  $W \approx 6 \text{ эВ}$ , а период решётки  $a$  равен  $0,35 \text{ нм}$  в никеле, и  $\approx 0,355 \text{ нм}$  в медно-никелевых сплавах. Поэтому согласно соотношению (1), диаметры наночастиц никеля, отвечающие виб-

рационным модам полосы  $\approx 15\text{-}40 \text{ мэВ}$ , лежат в пределах  $\approx 2\text{-}2,8 \text{ нм}$ , а диаметры наночастиц медно-никелевого сплава, отвечающие вибрационным модам полосы  $\approx 13\text{-}40 \text{ мэВ}$ , лежат в пределах  $\approx 2,1\text{-}3 \text{ нм}$ .

При выбранных размерах наночастиц, вследствие того, что в РЧ-диапазоне излучения  $h\nu \ll E_{\text{эм}}$  и благодаря неопределенности в импульсе фермиевского электрона, для любой величины энергии  $h\nu$  кванта РЧ-излучения всегда найдется вибрационная мода, обеспечивающая выполнение законов сохранения энергии и импульса в процессе поглощения кванта РЧ-излучения фермиевским электроном.

Таким образом, наночастицы с размером, определенным по формуле (1), за счет снижения минимальной частоты полосы поглощения до  $\approx 15 \text{ МГц}$  и повышения максимальной частоты полосы поглощения до  $\approx 400 \text{ ГГц}$  обеспечивают широкий диапазон поглощения РЧ-излучения и, следовательно, широкополосность поглощающего покрытия.

При использовании никеля или медно-никелевого сплава, которые имеют повышенную плотность электронных состояний на уровне Ферми и выше него увеличивается вероятность поглощения кванта РЧ-излучения фермиевским электроном с возбуждением последнего; кроме того, повышается вероятность рассеяния возбужденного электрона с передачей его энергии  $h\nu + E_{\text{эм}}$  возбуждаемой вибрационной моде. Это способствуют более эффективной диссипации наночастицей энергии РЧ-излучения и снижению отражательной способности покрытия.

Широкополосное электромагнитное поглощающее покрытие иллюстрируется чертежами, где на фиг. 1 изображен общий вид покрытия в разрезе для варианта одностороннего нанесения поглощающей пленки на основание; на фиг. 2 - то же, вариант нанесения поглощающей пленки на обе стороны основания; на фиг. 3 - то же, вариант использования нескольких слоев поглощающей пленки; на фиг. 4 - то же, вариант нанесения поглощающей пленки непосредственно на защищаемый объект; на фиг. 5 приведена таблица с примерами реализации широкополосного электромагнитного поглощающего покрытия.

Широкополосное электромагнитное поглощающее покрытие в вариантах одностороннего нанесения поглощающей пленки (фиг. 1 и фиг. 4) состоит из основания 1 в виде высокомодульной радиопрозрачной ткани или непосредственно поверхности защищаемого объекта 1, на которое нанесена поглощающая пленка 2. Поглощающая пленка выполнена из радиопрозрачного материала, содержащего наночастицы 3 из никеля или медно-никелевого сплава. Размер наночастиц определяют по формуле (1).

В варианте двухстороннего нанесения поглощающей пленки (фиг. 2) на основание, широкополосное электромагнитное поглощающее покрытие состоит из радиопрозрачного тканевого основания 1, на которое с двух сторон нанесена поглощающая пленка 2, выполненная из радиопрозрачного материала, содержащего наночастицы 3 из никеля или медно-никелевого сплава. Размер наночастиц определяют по формуле (1).

В варианте использования нескольких слоев поглощающей пленки (фиг. 3), широкополосное электромагнитное поглощающее покрытие состоит из  $n$  слоев радиопрозрачного тканевого основания 1, на которое нанесено  $n$  слоев поглощающей пленки 2, выполненной из радиопрозрачного материала, содержащего наночастицы 3 из никеля или медно-никелевого сплава. Размер наночастиц определяют по формуле (1).

Широкополосное электромагнитное поглощающее покрытие в варианте одностороннего нанесения поглощающей пленки (фиг. 1 и фиг. 4) работает следующим образом. Квант РЧ-излучения с энергией  $h\nu$  поглощает в наночастице 3 вибрационную моду с энергией  $E_{\text{эм}}$  и возбуждает электрон наночастицы 3 в окрестности уровня Ферми с уровня  $E'$  на уровень  $E' + h\nu + E_{\text{эм}}$ . Далее возбужденный электрон, рассеиваясь на границе наночастицы 3 возбуждает вибрационную моду с энергией  $h\nu + E_{\text{эм}}$ , и наночастица превращает энергию электромагнитного поля в теплоту. Благодаря повышенной плотности состояний электронов в окрестности уровня Ферми, количество актов поглощения квантов РЧ-излучения будет повышенным. Соответственно, будет повышенной и эффективностью поглощения РЧ-излучения наночастицей 3.

Широкополосное электромагнитное поглощающее покрытие в варианте двухстороннего нанесения поглощающей пленки (фиг. 2) работает следующим образом. В наружном слое поглощающей пленки 2 квант РЧ-излучения энергией  $h\nu$  поглощает в наночастице 3 вибрационную моду с энергией  $E_{\text{эм}}$  и возбуждает электрон наночастицы 3 в окрестности уровня Ферми с уровня  $E'$  на уровень  $E' + h\nu + E_{\text{эм}}$ . Далее возбужденный электрон, рассеиваясь на границе наночастицы

3, возбуждает вибрационную моду с энергией  $h\nu + E_{\text{эм}}$  и наночастица 3 превращает энергию электромагнитного поля в теплоту. В случае, если квант РЧ-излучения не будет поглощён наружным слоем поглащающей плёнки 2, он пройдёт сквозь радиопрозрачное тканевое основание 1 и подвергнется аналогичному процессу поглощения.

Широкополосное электромагнитное поглащающее покрытие в варианте использования нескольких слоев поглащающей плёнки (фиг. 3) работает аналогично варианту двухстороннего нанесения поглащающей плёнки. В случае, если квант РЧ-излучения не будет поглощён предыдущим слоем поглащающей плёнки 2, он пройдёт сквозь радиопрозрачное тканевое основание и подвергнется аналогичному процессу поглощения последующим слоем поглащающей плёнки.

### **Формула изобретения**

Широкополосное электромагнитное поглащающее покрытие, содержащее основание из, по меньшей мере, одного слоя арамидной высокомодульной ткани типа кевлар с нанесённой на него с одной или обеих сторон поглащающей плёнкой, выполненной из радиопрозрачного материала, содержащего наночастицы никеля или медно-никелевого сплава, отличающаяся тем, что размер наночастиц определяют по формуле:

$$D \approx k \cdot [(W/E_{\text{эм}}) + I]^{1/3},$$

где  $D$  - диаметр наночастицы (нм),

$k = 3^{1/2} \cdot 4^{1/3}$   $\alpha$  - постоянная величина,

где  $\alpha$  - период решётки никеля или медно-никелевого сплава (нм);

$W$  - ширина зоны  $d$ -электронов в никеле или медно-никелевом сплаве,

$E_{\text{эм}}$  - энергия вибрационной моды (мэВ), доминирующей в плотности состояний вибрационных мод в никеле или медно-никелевом сплаве.

Выпущено отделом подготовки материалов

---

Государственная служба интеллектуальной собственности и инноваций при Правительстве Кыргызской Республики,  
720021, г. Бишкек, ул. Московская, 62, тел.: (312) 68 08 19, 68 16 41; факс: (312) 68 17 03