



(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:

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

где D - диаметр наночастицы (нм),

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

где α - период решётки никеля или медно-никелевого сплава (нм);

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

$E_{\text{ам}}$ - 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 гидrogenизированного углерода.

Известно радиопоглощающее покрытие и способ его получения (патент RU № 2228565, H01Q 17/00, 2004), включающее основу из, по меньшей мере, одного слоя переплетённых арамидных высокомолекулярных 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, C09D 5/32, H01Q 17/00, 2009), содержащее два и более слоёв арамидной высокомолекулярной 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: ≈ 6 ГГц; верхняя граница: ≈ 80 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 высокомолекулярной 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:

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

где D - диаметр наночастицы (нм),

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

где α - период решётки никеля или медно-никелевого сплава (нм);

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

$E_{\text{вм}}$ - энергия вибрационной моды (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 ΔE между электронными уровнями равен сумме энергии $h\nu$ кванта РЧ-излучения и энергии вибрационной моды $E_{\text{вм}}$: $\Delta E = h\nu + E_{\text{вм}}$. В этих условиях квант излучения взаимодействует с вибрационной модой с энергией $E_{\text{вм}}$ (поглощает её) и возбуждает электрон наночастицы с уровня E' на уровень $E' + h\nu + E_{\text{вм}}$. Далее возбуждённый электрон рассеивается на границе наночастицы возбуждает в ней вибрационную моду с энергией $h\nu + E_{\text{вм}} > E_{\text{вм}}$. 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 (нм) наночастицы никеля или медно-никелевого сплава зависит от величины зазора ΔE (мэВ) следующим образом: $D \approx k \cdot [(W/\Delta E)+1]^{1/3}$, где $k = 3^{1/2} \cdot 4^{-1/3} \alpha$ - постоянная величина, α - период решётки никеля или медно-никелевого сплава (нм), W - ширина зоны d -электронов в никеле или медно-никелевом сплаве. В РЧ-диапазоне энергия $h\nu \ll E_{\text{вм}}$, поэтому $\Delta E = h\nu + E_{\text{вм}} \approx E_{\text{вм}}$, а диаметр наночастицы D (нм), в которой численно доминирует вибрационная мода с энергией $E_{\text{вм}}$ (мэВ), равен $D \approx k \cdot [(W/E_{\text{вм}})+1]^{1/3}$.

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

рациональным модам полосы $\approx 15-40$ мЭВ, лежат в пределах $\approx 2-2,8$ нм, а диаметры наночастиц медно-никелевого сплава, отвечающие вибрационным модам полосы $\approx 13-40$ мЭВ, лежат в пределах $\approx 2,1-3$ нм.

При выбранных размерах наночастиц, вследствие того, что в РЧ-диапазоне излучения $h\nu \ll E_{\text{эм}}$ и благодаря неопределённости в импульсе фермиевского электрона, для любой величины энергии $h\nu$ кванта РЧ-излучения всегда найдётся 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 ≈ 15 МГц и повышения максимальной частоты полосы поглощения до ≈ 400 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 способствует более эффективной диссипации наночастицей энергии РЧ-излучения и снижению отражательной способности покрытия.

Широкополосное электромагнитное поглощающее покрытие иллюстрируется чертежами, где на фиг. 1 изображён общий вид покрытия в разрезе для варианта одностороннего нанесения поглощающей плёнки на основание; на фиг. 2 - то же, вариант нанесения поглощающей плёнки на обе стороны основания; на фиг. 3 - то же, вариант использования нескольких слоев поглощающей плёнки; на фиг. 4 - то же, вариант нанесения поглощающей плёнки 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 плёнки (фиг. 1 и фиг. 4) состоит из основания 1 в виде высокомодульной радиопрозрачной ткани или непосредственно поверхности защищаемого объекта 1, на которое нанесена поглощающая плёнка 2. Поглощающая плёнка выполнена из радиопрозрачного материала, содержащего наночастицы 3 из никеля или медно-никелевого сплава. Размер наночастиц определяют по формуле (1).

В варианте двухстороннего нанесения поглощающей плёнки (фиг. 2) на основание, широкополосное электромагнитное поглощающее покрытие состоит из радиопрозрачного тканевого основания 1, на которое с двух сторон нанесена поглощающая плёнка 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 плёнки (фиг. 3), широкополосное электромагнитное поглощающее покрытие состоит из n слоев радиопрозрачного тканевого основания 1, на которое нанесено n слоёв поглощающей плёнки 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 плёнки (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 возбуждённый 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 эффективность поглощения РЧ-излучения наночастицей 3.

Широкополосное электромагнитное поглощающее покрытие в варианте двухстороннего нанесения поглощающей плёнки (фиг. 2) работает следующим образом. В наружном слое поглощающей плёнки 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 возбуждённый электрон, рассеиваясь на границы наночастицы

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

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

Формула изобретения

Широкополосное электромагнитное поглощающее покрытие, содержащее 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, отличающаяся тем, что размер наночастиц определяют по формуле:

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

где D - диаметр наночастицы (нм),

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

где α - период решётки никеля или медно-никелевого сплава (нм);

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

$E_{\text{вм}}$ - 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