

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2545562

**СПОСОБ ФОРМИРОВАНИЯ РАДИОПОГЛОЩАЮЩИХ
ТОПОЛОГИЙ НА НОСИТЕЛЯХ**

Патентообладатель(ли): *федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский Государственный политехнический университет" (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2013135381

Приоритет изобретения **26 июля 2013 г.**

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации **26 февраля 2015 г.**

Срок действия патента истекает **26 июля 2033 г.**

*Врио руководителя Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

Л.Л. Кирий





**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2013135381/05, 26.07.2013

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
26.07.2013

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 26.07.2013

(43) Дата публикации заявки: 10.02.2015 Бюл. № 4

(45) Опубликовано: 10.04.2015 Бюл. № 10

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 2200177 C1, 10.03.2003. SU 1773496 A1, 07.11.1992. RU 2031744 C1, 27.03.1995. US 0004173018 A1, 30.10.1979. WO 1993023893 A1, 25.11.1993. EP 1758443 B1, 15.08.2012

Адрес для переписки:

195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул.,
29, ФГАОУ ВО "СПбГПУ", Отдел
интеллектуальной собственности

(72) Автор(ы):

Нагорный Владимир Степанович (RU),
Колодяжный Дмитрий Юрьевич (RU),
Марчуков Евгений Ювенальевич (RU),
Мухин Андрей Николаевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
образования "Санкт-Петербургский
Государственный политехнический
университет" (RU)

(54) СПОСОБ ФОРМИРОВАНИЯ РАДИОПОГЛОЩАЮЩИХ ТОПОЛОГИЙ НА НОСИТЕЛЯХ

(57) Реферат:

Изобретение относится к материалам, поглощающим электромагнитные волны, и может найти применение для повышения скрытности и уменьшения вероятности обнаружения радиолокаторами объектов и оборудования наземной, авиационной и космической техники. Способ формирования радиопоглощающих топологий на носителях путем нанесения рабочей жидкости на носители. С частотой вынужденного возмущения струи рабочей жидкости создают линейный поток монодисперсных капель диаметром 30-300 мкм, отстоящих друг от друга на расстоянии, равном длине волны возмущения, сообщают управляемый как по знаку, так и по величине электрический заряд выбранной капле, отклоняя ее в постоянном электрическом поле в заданную точку носителя с получением

наноструктурированных проводящих конфигураций. В качестве рабочих жидкостей используют наносуспензированные в растворителях и поверхностно-активных веществах жидкости с металлическими наночастицами среднего диаметра 20-100 нм, массовое содержание которых составляет 20-40%, с динамическим коэффициентом вязкости жидкости меньше 1000 сантипуаз, удельным объемным сопротивлением 0,25-10 Ом·м и поверхностным натяжением (20-70) 10⁻³ Н/м. Изобретение обеспечивает бесконтактный способ получения радиопоглощающих топологий на носителе, а также повышение производительности технологического процесса. 3 з.п. ф-лы, 2 табл., 5 ил.

RU 2 545 562 C2

RU 2 545 562 C2



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(19) **RU** (11) **2 545 562**⁽¹³⁾ **C2**

(51) Int. Cl.
C09D 5/32 (2006.01)
H01Q 17/00 (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2013135381/05, 26.07.2013

(24) Effective date for property rights:
26.07.2013

Priority:

(22) Date of filing: 26.07.2013

(43) Application published: 10.02.2015 Bull. № 4

(45) Date of publication: 10.04.2015 Bull. № 10

Mail address:

195251, Sankt-Peterburg, Politekhnikeskaja ul., 29,
FGAOU VO "SPbGPU", Otdel intellektual'noj
sobstvennosti

(72) Inventor(s):

Nagornyj Vladimir Stepanovich (RU),
Kolodzjzhnyj Dmitrij Jur'evich (RU),
Marchukov Evgenij Juvenal'evich (RU),
Mukhin Andrej Nikolaevich (RU)

(73) Proprietor(s):

federal'noe gosudarstvennoe avtonomnoe
obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego
obrazovaniya "Sankt-Peterburgskij
Gosudarstvennyj politekhnicheskij universitet"
(RU)

(54) **METHOD OF FORMING RADAR-ABSORBENT TOPOLOGIES ON CARRIERS**

(57) Abstract:

FIELD: chemistry.

SUBSTANCE: invention relates to materials which absorb electromagnetic waves, and can be used to improve stealthiness and reduce the probability of radar detection of ground, aircraft and space equipment and objects. A method of forming radar-absorbent topologies on carriers by depositing a working liquid on a carrier; with frequency forced perturbation of the jet of the working liquid, generating a linear stream of monodispersed droplets with diameter of 30-300 mcm, separated by a distance equal to the wavelength of the perturbation; transmitting a sign- and magnitude-controlled electric charge to a selected droplet, while

deviating said droplet in an electrostatic field to a given point of the carrier to obtain nanostructured conducting configurations. The working liquids used are liquids which are nanosuspended in solvents and surfactants with metal nanoparticles with average diameter of 20-100 nm, the weight content of which is equal to 20-40%, with dynamic viscosity coefficient of the liquid less than 1000 cP, volume resistivity of 0.25-10 ohm·m and surface tension of (20-70) 10⁻³ N/m.

EFFECT: invention provides a contactless method of producing radar-absorbent topologies on a carrier, as well as high efficiency of the process.

4 cl, 2 tbl, 5 dwg

R U
2 5 4 5 5 6 2
C 2

R U
2 5 4 5 5 6 2
C 2

Предлагаемое изобретение относится к материалам, поглощающим электромагнитные волны, и может найти применение для повышения скрытности и уменьшения вероятности обнаружения радиолокаторами объектов и оборудования наземной, авиационной и космической техники. Также может найти применение для защиты персонала от воздействия радиоизлучения, для создания частотно-избирательных поверхностей для радаров, прозрачных только для определенных длин волн (СВЧ фильтры), а также в качестве радиопоглощающей метки для ценных бумаг с целью защиты их от подделки.

Известны различные способы изготовления материалов и покрытий для поглощения радиоизлучения. По одному из способов [Ю.К. Ковнеристый, И.Ю. Лазарева, А.А. Раваев. Материалы, поглощающие СВЧ-излучение. М., Наука, 1982 г., с. 85] из графита, керметов и т.п. материалов изготавливают геометрические фигуры (например, цилиндры, конусы) различных размеров и закрепляют их на поверхности в определенном порядке. Недостатком такого способа является большой объем и масса поглощающих устройств.

Известен способ [Ю.К. Ковнеристый, И.Ю. Лазарева, А.А. Раваев. Материалы, поглощающие СВЧ-излучение. М., Наука, 1982 г., с. 46, 88], по которому в жидкое полимерное связующее или его раствор вводят дисперсный поглощающий наполнитель (графит, феррит, сегнетоэлектрики, металлические сплавы типа "альсифер" и т.п.), а затем полученный жидкий материал наносят вручную или с использованием фотолитографических операций на защищаемую металлическую поверхность.

Известно радиопоглощающее покрытие, материал которого получают путем совмещения полимерного связующего и ультрадисперсного поглощающего наполнителя, в качестве которого используются спеченные частицы феррита, осажденного из водного раствора, и частицы феррита, полученные наномолекулярным наслаиванием из газовой среды [Патент №2247759, Россия, МПК⁷ C09D 5/32, H01Q 17/00, опубликован 2005.03.10]. При получении радиопоглощающего покрытия этот материал многооперационно наносится на поверхность с использованием ручных операций.

Аналогично используется известная композиция, в которой порошковый материал для поглощения электромагнитного поля представляет собой феррит с размером частиц около 8,0 мкм. Состав феррита, мол. %: 65-85 Fe₂O₃; 2-20 MnO; 10-20 ZnO [Патент №3-14483, Япония, МПК⁴ H01F 1/00, опубликован 1992.03.13].

Известен способ, при котором получают вначале жидкий материал при смешении синтетического клея "Элатон" и порошкообразного феррита или корбонального железа, который затем наносят (многооперационно и с использованием ручных операций) на защищаемую поверхность в несколько слоев с промежуточной сушкой между слоями [патент РФ 2107705, кл. C09D 5/32, опубликован 1998.04.27]. Кроме того, к недостаткам данного способа получения радиопоглощающего покрытия можно отнести сложность выполнения задачи по равномерному распределению наполнителя внутри матрицы, низкое поглощение в тонких слоях, необходимость нанесения большой толщины покрытия для получения высокого поглощения в диапазоне длин волн более 2 мм. В частности, для длины волны 3 см толщина покрытия должна быть не менее 1 мм. Высокое поглощение в сочетании с низкой толщиной покрытия является важным при применении покрытий в объектах, где массогабаритные характеристики являются первостепенными. В частности, к таким объектам относятся летательные аппараты, микроэлектронные СВЧ устройства. Поглощающие покрытия большой толщины утяжеляют конструкции летательных аппаратов, ухудшают их аэродинамику, разрушаются при высоких скоростях полета и вибрации конструкции. В микроэлектронных устройствах такие покрытия увеличивают их габариты в несколько

раз.

Наиболее близким к заявляемому материалу и принятым в качестве прототипа является способ получения радиопоглощающего покрытия [патент РФ 2200177, МПК 7 C09D 5/32, опубликован 2003.03.10], по которому наносят радиопоглощающий материал на защищаемую поверхность в несколько слоев с промежуточной сушкой каждого слоя. В один из слоев поглощающего покрытия перед сушкой помещают разрезные кольца из электропроводного материала толщиной более толщины скин-слоя, с различным диаметром. При этом величина зазора в каждом из колец и минимальное расстояние между кольцами выбраны так, чтобы при данной мощности излучения не было короткого замыкания в зазоре и между кольцами, и равны 0,1-0,5 мм. Далее производят сушку этого слоя при определенной температуре и наносят с использованием ручных операций следующие слои необходимой толщины. При таком способе можно получить радиопоглощающее покрытие, которое имело бы достаточно высокое поглощение при толщинах менее 1 мм в широком диапазоне длин волн (от долей мм до 2-3 десятков см). Применение электропроводных разрезных колец позволяет, во-первых, получать тонкие поглощающие слои толщиной менее 1 мм, во-вторых, увеличить радиопоглощение для различного диапазона длин волн без увеличения толщины материала, в-третьих, расширить этот диапазон длин волн. Процесс нанесения поглощающего материала состоит из повторяющихся циклов. На три металлические поверхности размерами 200×200 мм наносят (с использованием ручных операций) поглощающий материал на основе феррита толщиной 0,5 мм и производят сушку при температуре 25°С. После этого замеряют поглощение электромагнитного излучения образцами. Затем изготавливают разрезные кольца следующим образом. Рассчитывают собственные частоты объемного резонатора f_{\min} в зависимости от его диаметра D . На оправки из нержавеющей стали диаметром $D_1=10$ мм и $D_2=3$ мм наматывают виток к витку константановую проволоку диаметром 0,2 мм и разрезают по образующей тонкой фрезой или ножницами. Первый образец оставляют без изменения. На поверхность второго и третьего образцов помещают и закрепляют кольца диаметром $D_1=10$ мм, с зазором 0,2 мм, на расстоянии между кольцами 0,2 мм. Затем на поверхность третьего образца дополнительно помещают кольца диаметром $D_2=3$ мм и зазором 0,2 мм, располагая их концентрически в кольцах с диаметром $D_1=10$ мм. После этого наносят (с использованием ручных операций) слой поглощающего покрытия толщиной 0,5 мм на поверхность трех образцов. После сушки производят измерение поглощения образцов в открытом пространстве, применяя излучающий и приемный рупоры, согласованные по размерам с частотой электромагнитного излучения.

К недостаткам данного способа создания радиопоглощающего покрытия относится то, что он не автоматизирован, не гибок с позиций управления реализацией технологических операций, многооперационен и затратен.

Технической задачей, на решение которой направлено изобретение, является создание полностью автоматизированного, гибко управляемого от микроЭВМ, малозатратного способа формирования радиопоглощающих проводящих топологий (например, разрезных и неразрезных колец различного диаметра, толщины и ширины, других различных геометрических фигур с различным их сочетанием и расположением) на различных диэлектрических носителях без использования ручных и фотолитографических операций. Разработанный способ позволяет с минимальными затратами и максимальной гибкостью непосредственно получать сразу же

соответствующие радиопоглощающие топологии на носителях и на их базе - радиопоглощающие покрытия, снижающие вероятность обнаружения и/или классификации объектов при использовании стационарных и мобильных радиолокаторов, работающих в широком диапазоне частот. При этом проводящие топологии могут наноситься непосредственно на поверхность защищаемого объекта и/или на гибкую диэлектрическую основу, выполненную из тканого и/или нетканого материала, из которого изготавливается чехол, покрытый антирадарным радиопоглощающим материалом.

Технический результат, достигаемый при осуществлении изобретения для заданной топологии размещения, конфигураций, параметров геометрических фигур и других конфигураций, заключается:

- в полной автоматизации процесса формирования радиопоглощающих проводящих топологий на различных носителях;
- гибкости управления этим процессом (на одном и том же оборудовании можно обеспечивать получение различных радиопоглощающих топологий на различных носителях);
- существенным снижением (в ряде случаев в десятки раз) стоимости получения радиопоглощающих топологий;
- бесконтактным получением радиопоглощающих топологий, что позволяет их реализовывать на различных материалах, различных конфигурациях форм деталей из этих материалов (в том числе криволинейных);
- отсутствием подвижных механических и электромеханических элементов в устройствах, реализующих предлагаемый способ;
- повышении производительности технологического процесса получения заданных топологий и точности воспроизведения их (топологий) на носителях.

Все это (с учетом предварительно обоснованной заданной проводящей топологии на выбранном носителе) в конечном итоге позволит обеспечить с минимальными затратами требуемое снижение уровня и/или мощности отраженной электромагнитной волны от объекта в направлении облучающего радиолокатора по отношению к уровню и/или мощности лоцирующей электромагнитной волны радиолокатора при его размещении на любом расстоянии от защищаемого объекта.

Указанный технический результат достигается тем, что при нанесении рабочих жидкостей на носители, с использованием микроЭВМ создают с частотой вынужденного возмущения струи рабочей жидкости линейный поток монодисперсных капель (до ста тысяч капель в секунду) диаметром 30-300 мкм, отстоящих друг от друга на расстоянии, равном длине волны возмущения, сообщают электрический заряд выбранной капле заданного знака и величины, отклоняют данную каплю в постоянном электрическом поле в заданную точку носителя, получая наноструктурированные требуемые проводящие конфигурации. При этом в качестве рабочих жидкостей используют наносуспензированные в растворителях и поверхностно активных веществах жидкости с металлическими наночастицами среднего диаметра 20-100 нм, массовое содержание которых (наночастиц металла) составляет 20-40%, с динамическим коэффициентом вязкости жидкости меньше 1000 сантипуаз, удельным объемным сопротивлением 0,25-10 Ом·м и поверхностным натяжением (20-70) 10^{-3} Н/м. В свою очередь, вынужденное возмущение струи рабочей жидкости осуществляют от пьезоэлектрического преобразователя подачей заданной частоты переменного напряжения на его электроды, а заряд выбранной капле заданного знака и величины сообщают в точке отрыва капли от струи рабочей жидкости.

На фиг. 1 в качестве примера представлено устройство, реализующее предложенный способ формирования радиопоглощающих топологий на носителях. Цифрами на нем обозначены: 1 - электрокаплеструйная головка; 2 - струя структурированной наночастицами металла рабочей жидкости; 3 - капля; 4 - отклоняющие электроды; 5 - диэлектрический носитель радиопоглощающих топологий; 6 - улавливатель капель; 7 - фильтр; 8 - зарядный электрод; 9 - насос; 10 - пьезоэлектрический преобразователь.

Устройство, реализующее предложенный способ формирования радиопоглощающих топологий на носителях, функционирует следующим образом.

Структурированная наночастицами металла рабочая жидкость под высоким постоянным давлением 0,1-0,6 МПа от насоса 9 подается в электрокаплеструйную головку 1 и в виде ламинарной струи 2 выходят из формирующего сопла. На расстоянии L от среза сопла, где и размещается зарядный электрод 8, струя распадается на монодисперсные капли 3. Распад струи на монодисперсные капли синхронизируется пьезоэлектрическим преобразователем (НЭП) 10 под действием переменного электрического напряжения $U_{П}$ частотой f , подаваемого на электроды ПЭП. ПЭП, меняя свои геометрические параметры за счет обратного пьезоэффекта под действием гармонического управляющего электрического сигнала, вносит вынужденные возмущения в вытекающую струю структурированной наночастицами металла рабочей жидкости. При этом расстояние между каплями в линейной последовательности капель равно длине волны возмущения $\lambda=v/f$ от ПЭП, где v - средняя скорость струи рабочей жидкости, f - частота электрического напряжения на электродах ПЭП.

Частота каплеобразования равна частоте f напряжения на электродах ПЭП.

В точке отрыва капле от струи любая капля рабочей жидкости избирательно (по программе, заложенной в управляющую микроЭВМ - на фиг. 1 не показанную) заряжается, проходя через зарядный электрод 8. Величина электрического заряда капли прямо пропорциональна напряжению U_3 на зарядном электроде. Далее, пролетая в постоянном электрическом поле между пластинами отклоняющих электродов 4, на которые подается постоянное напряжение U_0 , каждая заряженная капля отклоняется пропорционально полученному заряду и попадает в заданную точку диэлектрического носителя 5. Развертка по второй координате осуществляется перемещением диэлектрического носителя 5.

Таким образом формируются заданные радиопоглощающие наноструктурированные топологии непосредственно на носителях. В случае необходимости для обеспечения требуемой проводимости сформированных топологий осуществляют нагрев носителя с нанесенной на нем топологией до заданной температуры в диапазоне температур 100-350°C.

Капли, не получившие заряда и не участвующие в процессе формирования наноструктурированных проводящих топологий, летят по прямой траектории и попадают в улавливатель 6. Из него рабочая жидкость поступает через фильтр 7 обратно в систему подачи рабочей жидкости, осуществляя таким образом замкнутый контур ее циркуляции.

Напряжения $U_{П}$ на электродах ПЭП, U_3 на зарядном электроде, U_0 на отклоняющих электродах меняется от управляющей микроЭВМ.

На фиг. 1 в качестве примера показана технология получения наноструктурированных проводящих топологий заряженными структурированными наночастицами металла каплями рабочей жидкости. Легко реализуется схема когда, наоборот, капли, не участвующие в формировании проводящих топологий, получают заряд и отклоняются

в улавливател на слив, а рабочие (формирующие) капли летят по прямой и попадают на поверхность диэлектрического носителя.

Характерными особенностями и преимуществами перед прототипом предлагаемого способа являются:

- 5 - отсутствие подвижных перемещающихся с трением механических элементов в устройствах, их реализующих;
- микропрограммное управление процессами получения линейного потока монодисперсных капель рабочей жидкости с одинаковым расстоянием между каплями, сообщения управляемого как по величине, так и по знаку электрического заряда каплям,
- 10 отклонения заряженных капель в электрическом поле, что обеспечивает гибкость управления;
- бесконтактного нанесения структурированных наночастицами металла рабочих жидкостей (заряженных и незаряженных) на объекты с любой формой поверхностей из различных материалов;
- 15 - дешевизна, быстрота, простота оборудования и экологическая чистота производства.

Следование капель друг за другом с одинаковой скоростью и на одинаковом расстоянии друг от друга обеспечивает равномерность нанесения рабочей жидкости по поверхности носителя.

Выбор радиопоглощающих проводящих топологий на диэлектрическом носителе (например, разрезных и неразрезных колец различного диаметра, толщины и ширины, других различных геометрических фигур с различным их сочетанием и расположением) осуществляется, например, аналогично тому, как это сделано в прототипе. Различный диаметр D формируемых таким образом проводящих разрезных колец толщиной более



30 где C - скорость света; v_{mn} - n -й корень Бесселевой функции, удовлетворяющий уравнению $J_m(x)=0$, $m=1, 2, \dots$; f_{\min} - минимальная частота поглощаемого излучения; ϵ - диэлектрическая проницаемость радиопоглощающего материала; μ - магнитная проницаемость радиопоглощающего материала. При этом величина зазора в каждом из колец и минимальное расстояние между кольцами выбраны так, чтобы при данной

35 мощности излучения не было короткого замыкания в зазоре и между кольцами, и равны 0,1-0,5 мм. В качестве радиопоглощающего материала могут быть применены различные композиции с соответствующими наполнителями. Толщина скин-слоя d формируемых проводящих топологий на диэлектрических носителях определяется по формуле

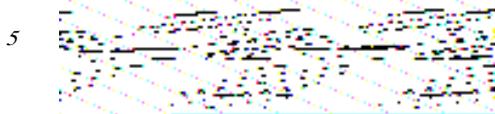


45 где $\omega=2\pi f$; c - электрическая постоянная, равная скорости света в вакууме; σ - коэффициент электропроводности; μ - магнитная проницаемость.

В частности, при $f=10^6$ Гц для меди $d=0,1$ мм, а для титана $d=0,5$ мм; при $f=10^{10}$ Гц для меди $d=0,001$ мм, а для титана $d=0,005$ мм.

Сформированное по предлагаемому способу электропроводное кольцо, на которое

падает электромагнитная волна, аналогично магнитному вектору Герца. В таком случае имеем набор колец, расположенных на поверхности диэлектрического слоя и отстоящих друг от друга на расстоянии $L_1 \ll \lambda$. Все возможные колебания будут лежать в интервале



Таким образом, в соответствии с прототипом, имеем некоторый спектр частот, а среда обладает дисперсией, которая является существенной, пока L_1 мало по сравнению с длиной волны λ . В такой диспергирующей среде существующая диссипация заставит распределиться излучению по всей поверхности и перейти энергию волны в тепло. Так, например, при наличии двух типов чередующихся электропроводных колец, диаметр которых D_1 и D_2 , расположенных на равных расстояниях друг от друга, возможно образование двух видов волн:

15

$$\vec{H} = \vec{H}_{2n} e^{i(\omega t - k(L_1 - L_2))} + \vec{H}_{2n} e^{i(\omega t - k(L_1 + L_2))}$$

20

$$\vec{E} = \vec{E}_{2n} e^{i(\omega t - k(L_1 - L_2))} + \vec{E}_{2n} e^{i(\omega t - k(L_1 + L_2))}$$

где ω - круговая частота; t - время; s ; n - целое число (0, 1, 2, ...). Нечетные номера соответствуют кольцам диаметром D_1 , а четные - кольцам, диаметр которых D_2 . Такая среда содержит собственные осцилляторы и имеет дисперсионное уравнение четвертой степени. В этом случае получается уже два спектра частот, которые лежат в более высоком и более низком диапазонах частот. Следовательно, общий спектр существенно расширяется по сравнению с первым случаем.

Для снижения отражения падающей электромагнитной энергии кольца делают, как уже отмечалось выше, разрезными. Тогда наведенная в них энергия будет частично переизлучаться в зазоре и поглощаться в слое покрытия. Несмотря на довольно широкий спектр собственных частот, резонатор реально взаимодействует только с частотами первых гармоник. Чтобы расширить спектр поглощения, необходимо применять кольца разного диаметра. Они могут располагаться в одной плоскости (например, концентрически одно в другом) либо в разных плоскостях. Зазор в кольцах и расстояние между ними должны быть такие, чтобы в результате пробоя или туннельного эффекта не образовалось сплошной электропроводной сетки на поверхности, которая в таком случае будет работать уже как отражатель (см., например, "Электродинамика сетчатых структур", Конторович М.И., Астрахан М.И. и др., Радио и связь, 1987 г.). Поэтому зазор в кольце и расстояние между ними выбирают в пределах 0,1-0,5 мм.

В качестве рабочих жидкостей в предлагаемом способе используют наносупспензированные в растворителях и поверхностно-активных веществах жидкости с металлическими наночастицами среднего диаметра 20-100 нм, массовое содержание которых (наночастиц металла) составляет 20-40%, с динамическим коэффициентом вязкости жидкости меньше 1000 сантипуаз, удельным объемным сопротивлением 0,25-10 Ом·м и поверхностным натяжением (20-70) 10^{-3} Н/м.

Как пример, на фиг. 2 и фиг. 3 представлены результаты проведенного рентгеноспектрального микроанализа рабочей жидкостей с 40% массового содержания серебра, а на фиг. 4 и фиг. 5 - рабочей жидкостей с 20% массового содержания серебра,

базовыми жидкими компонентами которых являются этандиол, этанол, глицерин и 2-изопроксиэтанол.

На фиг. 2 показано распределение наночастиц серебра в рабочей жидкости с 40% массового содержания серебра (РЭМ, x456470K), а на фиг. 3 - соответствующая фиг. 2 гистограмма распределения наночастиц серебра в данной рабочей жидкости по среднему диаметру по Фере.

Аналогично, на фиг. 4 показано распределение наночастиц серебра в рабочей жидкости с 20% массового содержания серебра (РЭМ, x477780K), а на фиг. 5 - соответствующая фиг.4 гистограмма распределения наночастиц серебра в данной рабочей жидкости по среднему диаметру по Фере.

Из фиг. 3 и фиг. 5 видно, что основной диапазон изменения среднего диаметра наночастиц серебра в рабочих жидкостях составляет 30-70 нм.

Из фиг. 2 и фиг. 4 видно, что каждая из наночастиц серебра отделена друг от друга поверхностно-активным веществом (ПАВ), препятствующим слипанию наночастиц. То есть каждая наночастица серебра одета «в шубу» из ПАВ, что обеспечивает большую устойчивость суспензии.

Последнее экспериментально подтверждается и тем, что не удалась попытка выделения наночастиц серебра из рабочей жидкости на центрифуге с ускорением 24g.

Преимуществом предлагаемого способа формирования радиопоглощающих топологий на носителях (помимо вышерассмотренных) является возможность формирования топологий с равномерным распределением нанонаполнителя, в качестве которого могут быть не только наночастицы серебра (как в выше приведенном примере), но и наночастицы других металлов. Последнее подтверждается экспериментально полученными результатами (фиг. 2-5). При этом капли наносуспензированной металлом рабочей жидкости управляемо от микроЭВМ наносятся на заданные участки диэлектрического носителя.

Для обеспечения требуемой (повышенной) проводимости сформированных топологий осуществляют нагрев носителя с нанесенной на нем топологией до заданной температуры в диапазоне температур 100-350°C в течение времени до 90 минут в зависимости от типа металлических наночастиц. Обработка высокой температурой сформированной топологии необходима, чтобы избавиться от растворителя и ПАВ, присутствующих в рабочей жидкости, а также необходима для спекания между металлическими наноразмерными частицами.

Заявленный способ формирования радиопоглощающих топологий на носителях может быть применен к любым предварительно обоснованным заданным проводящим топологиям на выбранном носителе.

В качестве примера (по аналогии с прототипом) экспериментального подтверждения эффективности предлагаемого способа формирования проводящих топологий в виде разрезных и неразрезных колец различного диаметра, толщины и ширины в табл. 1 приведены экспериментальные результаты по влиянию проводящих разрезных колец на параметры радиопоглощения покрытий с ферритовым наполнителем (состав 96,0% феррит-граната $Y_3Fe_5O_{12}$ + 4,0% оксида железа Fe_2O_3) и водоэмульсионной композиции на основе бутадиен-стирольного латекса, загустителя и антисептика (ТУ 2385-002-11165336-95).

При проведении экспериментальных исследований вначале на три поверхности размерами 200×200 мм наносят поглощающий материал на основе феррита толщиной 0,5 мм.

Прежде чем сформировать проводящие разрезные кольца, вначале, в соответствии

с уравнением, приведенным на стр. 9 описания исходной заявки (стр. 11 настоящего ответа), рассчитывают собственные частоты объемного резонатора f_{\min} в зависимости от его диаметра D .

5 Значения собственных частот $f_{1n \min}$ открытого объемного резонатора в зависимости от его диаметра D представлены в табл. 2.

Первый образец оставляют без изменения. На поверхность второго и третьего образцов формируют по предлагаемому способу кольца диаметром $D_1=10$ мм, с зазором 0,2 мм, на расстоянии между кольцами 0,2 мм. Затем на поверхность третьего образца 10 дополнительно формируют по предлагаемому способу кольца диаметром $D_2=3$ мм и зазором 0,2 мм, располагая их концентрически в кольцах с диаметром $D_1=10$ мм. При этом величина зазора в каждом из колец и минимальное расстояние между кольцами выбраны так, чтобы при данной мощности излучения не было короткого замыкания в зазоре и между кольцами. Далее наносят слой поглощающего покрытия с ферритовым 15 наполнителем толщиной 0,5 мм на поверхность трех образцов.

Для обеспечения требуемой проводимости сформированных топологий осуществляют нагрев носителя с нанесенной на нем топологией в диапазоне температур 100-350°C в течение времени до 90 минут в зависимости от типа металлических наночастиц (см. стр. 8, 13 исходных материалов заявки)

20 Производят измерение поглощения образцов в открытом пространстве, применяя излучающий и приемный рупоры, согласованные по размерам с частотой электромагнитного излучения.

Результаты измерения для различных образцов с использованием константана приведены в табл. 1.

25 Из табл. 1 следует, что применение колец одного диаметра, помещенных в слой поглощающего покрытия, увеличивает поглощение в несколько раз (пункт 2 таблицы) по сравнению с покрытием без колец (пункт 1 табл. 1).

Введение в слой поглощающего покрытия колец разного диаметра (пункт 3 таблицы 1) не только увеличивает поглощение, но и расширяет диапазон длин волн, который 30 поглощает покрытие.

35

40

45

| 5 | табл. 1 | | | табл. 2 | | |
|----|---------|-------|---------|---------|-------|---------|
| | Ширина | Длина | Площадь | Ширина | Длина | Площадь |
| 10 | 1,75 | 1,0 | 1 | 1,75 | 1,0 | 1 |
| 15 | 3,0 | 4,0 | | 3,0 | 4,0 | |
| 20 | 1,0 | 4,0 | | 1,0 | 4,0 | |
| 25 | 0,1 | 200 | 200 | 0,1 | 200 | 200 |
| 30 | 0,1 | 12,0 | 0,1 | 0,1 | 12,0 | 0,1 |
| 35 | 1,75 | 5,0 | 2 | 1,75 | 5,0 | 2 |
| 40 | 3,0 | 9,0 | | 3,0 | 9,0 | |
| 45 | 0,0 | 3,53 | | 0,0 | 3,53 | |
| | 20,0 | 4,0 | | 20,0 | 4,0 | |
| | 20,0 | 7,5 | | 20,0 | 7,5 | |
| | 10,0 | 10,0 | | 10,0 | 10,0 | |
| | 12,0 | 10,0 | | 12,0 | 10,0 | |
| | 20,0 | 20,0 | | 20,0 | 20,0 | |
| | 1,75 | 20,0 | | 1,75 | 20,0 | |
| | 3,0 | 3,2 | | 3,0 | 3,2 | |
| | 30,0 | 3,53 | | 30,0 | 3,53 | |
| | 25,0 | 4,0 | | 25,0 | 4,0 | |
| | 20,0 | 7,5 | | 20,0 | 7,5 | |
| | 10,0 | 10,0 | | 10,0 | 10,0 | |
| | 12,0 | 10,0 | | 12,0 | 10,0 | |
| | 20,0 | 20,0 | | 20,0 | 20,0 | |

Таблица 2 Таб. 2

| λ, см | f _{погл.} , Вт | | f _{погл.} , Вт | | f _{погл.} , Вт | |
|--------|-------------------------|---------|-------------------------|--------|-------------------------|------|
| | 10 мм | 3 мм | 10 мм | 3 мм | 10 мм | 3 мм |
| 1,762 | 123,67 | 1,10986 | 3,7762 | 123,67 | 1,10986 | 3 |
| 3,8397 | 64996 | 3,00,75 | 3,8397 | 64996 | 3,00,75 | |
| 7,28,7 | 59,82 | 7,50,0 | 7,28,7 | 59,82 | 7,50,0 | |
| 12,347 | 12,538 | 66,932 | 12,347 | 12,538 | 66,932 | |

С увеличением длины волны при постоянной мощности излучения наблюдается снижение поглощения при прочих равных условиях. Это можно объяснить тем, что поглощенный квант энергии hf (h - постоянная Планка, f - частота излучения) с уменьшением частоты уменьшается и для поглощения той же мощности излучения в длинноволновой области требуется большее количество резонаторов, чем для коротковолновой области. Поэтому в табл. 1 поглощенная мощность уменьшается при увеличении длин волн.

Для диаметра D=10 мм поглощенная мощность уменьшается и в коротковолновой области (λ<4 см), так как в этой области, в соответствии с расчетной формулой, вероятность поглощения энергии кольцами этого диаметра уменьшается. В то же время при введении в слой колец с диаметром D=3 мм поглощение энергии в коротковолновой области резко возрастает, так как для колец этого диаметра вероятность поглощения в этой области, в соответствии с расчетной формулой, возрастает. Поглощение в длинноволновой области, в этом случае, не меняется, так как вероятность поглощения кольцами с D=3 мм мала и поглощение осуществляется кольцами с D=10 мм.

Таким образом, помещение электропроводных разрезных колец в поглощающий слой увеличивает поглощение электромагнитной энергии без увеличения толщины материала, а применение колец разного диаметра не только увеличивает поглощение, но и расширяет диапазон длин волн поглощаемой энергии.

При реализации предложенного способа формирование радиопоглощающих топологий на носителях сообщают выбранной из монодисперсного потока капле наносуспензированной металлом рабочей жидкости управляемый как по знаку, так и по величине электрический заряд, отклоняют данную каплю в постоянном электрическом поле в заданную точку носителя и получают неструктурированные требуемые проводящие конфигурации. При этом диапазон отклонения у заряженной капли наносуспензированной металлом рабочей жидкости в зависимости от выбранных электрических, гидродинамических и конструктивных параметров определяется выражениями:

для цилиндрического зарядного электрода и плоскопараллельных отклоняющих электродов (см. фиг. 1 исходных материалов заявки)

$$r = \frac{V_{20} \cdot (2U - U_0) \cdot L_0}{4 \cdot \rho \cdot d \cdot n \cdot \sqrt{2n}} \cdot \sqrt{\frac{\ln \left(\frac{nc \cdot d}{d_0} \right)}{4L^2}}$$

для U-образного зарядного электрода и плоскопараллельных отклоняющих электродов (см. фиг. 1 исходных материалов заявки)



где U_3 , U_0 - электрическое напряжение на зарядном и отклоняющих электродах соответственно; d_c , d_k - соответственно диаметр струи рабочей жидкости и диаметр каплеобразующей наносуспензированной металлом рабочей жидкости; h_3 - радиус цилиндрического зарядного электрода, или расстояние от оси струи до обкладки U-образного зарядного электрода; $\lambda = V_{CT}/f$ - длина волны возмущения от пьезоэлектрического преобразователя (ПЭП) выходящей из сопла наносуспензированной металлом рабочей жидкости; f - частота вынужденных от ПЭП возмущений струи рабочей жидкости (частота каплеобразования в линейной последовательности монодисперсных каплеобразований); V_{CT} - скорость струи наносуспензированной металлом рабочей жидкости; ρ - плотность наносуспензированной металлом рабочей жидкости; L - длина нераспавшейся на капли струи наносуспензированной металлом рабочей жидкости; l_0 - длина отклоняющих электродов; l_H - расстояние от входного среза отклоняющих электродов до носителя; $c_0 = 0,577$ - постоянная Эйлера; n_{3K} - число предварительно заряженных каплеобразующей наносуспензированной металлом рабочей жидкости; ϵ_0 - электрическая постоянная ($\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м); $k_\phi = -1,34 + 5,43(b/a) - 4,16(b/a)^2 + 1,07(b/a)^3$ - коэффициент, учитывающий влияние формы капли на величину заряда; b - полуось эллипсоида, равная максимальному размеру капли, перпендикулярному направлению поля зарядного электрода; a - полуось эллипсоида, равная максимальному размеру капли, параллельному направлению поля зарядного электрода. Если $a=b$, то капля наносуспензированной металлом рабочей жидкости имеет форму шара и коэффициент $k_\phi = 1$. Как правило, в предложенном способе формирования радиопоглощающих топологий $0 \leq n_{3K} \leq 3$; $1 < b/a < 1,5$.

Диапазоны изменения основных параметров в вышеприведенных выражениях: $U_3 = 0-300$ В; $U_0 = 0-5$ кВ; $d_k = 30-300$ мкм; $f =$ до 100 кГц.

Формула изобретения

1. Способ формирования радиопоглощающих топологий на носителях путем нанесения рабочих жидкостей на носители, отличающийся тем, что в качестве рабочих жидкостей используют наносуспензированные в растворителях и поверхностно-активных веществах жидкости с металлическими наночастицами среднего диаметра 20-100 нм, массовое содержание наночастиц металла составляет 20-40%, с динамическим коэффициентом вязкости жидкости меньше 1000 сантипуаз, удельным объемным сопротивлением 0,25-10 Ом·м и поверхностным натяжением (20-70) 10^{-3} Н/м, создают с частотой f вынужденного возмущения струи рабочей жидкости линейный поток монодисперсных каплеобразований диаметром 30-300 мкм, отстоящих друг от друга на расстоянии, равном длине волны возмущения, сообщают управляемый как по знаку, так и по величине электрический заряд выбранной капле, отклоняют данную каплю в постоянном электрическом поле в заданную точку носителя и получают наноструктурированные

проводящие конфигурации.

2. Способ по п. 1, отличающийся тем, что нагревают носитель с нанесенной на нем наноструктурированной топологией в диапазоне температур 100-350°C в течение времени до 90 минут.

5 3. Способ по п. 1, отличающийся тем, что вынужденное возмущение струи рабочей жидкости осуществляют от пьезоэлектрического преобразователя подачей переменного напряжения на его электроды с частотой f .

4. Способ по п. 1, отличающийся тем, что сообщают управляемый как по знаку, так и по величине электрический заряд выбранной капле в точке отрыва капли от струи
10 рабочей жидкости.

15

20

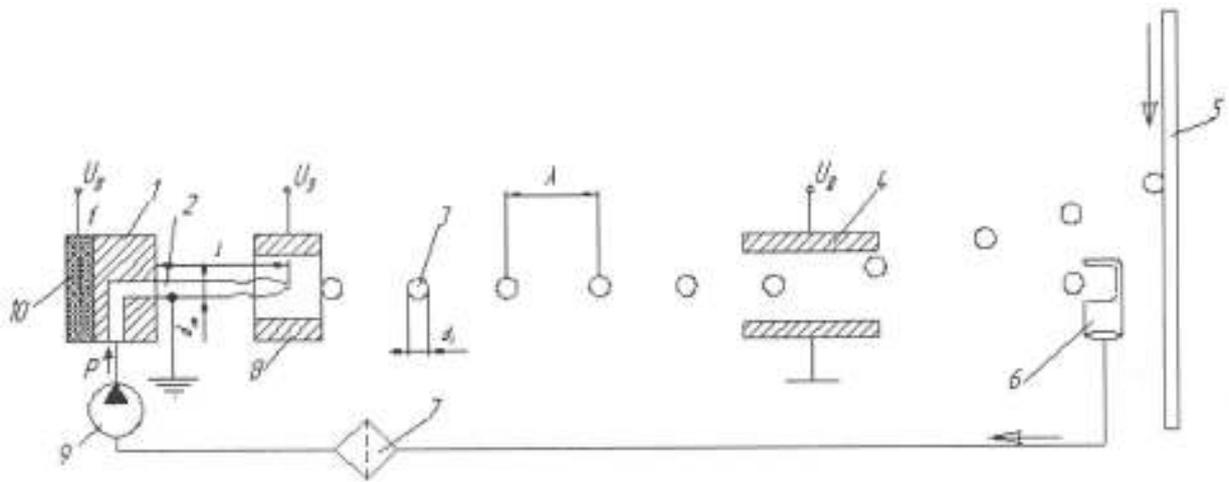
25

30

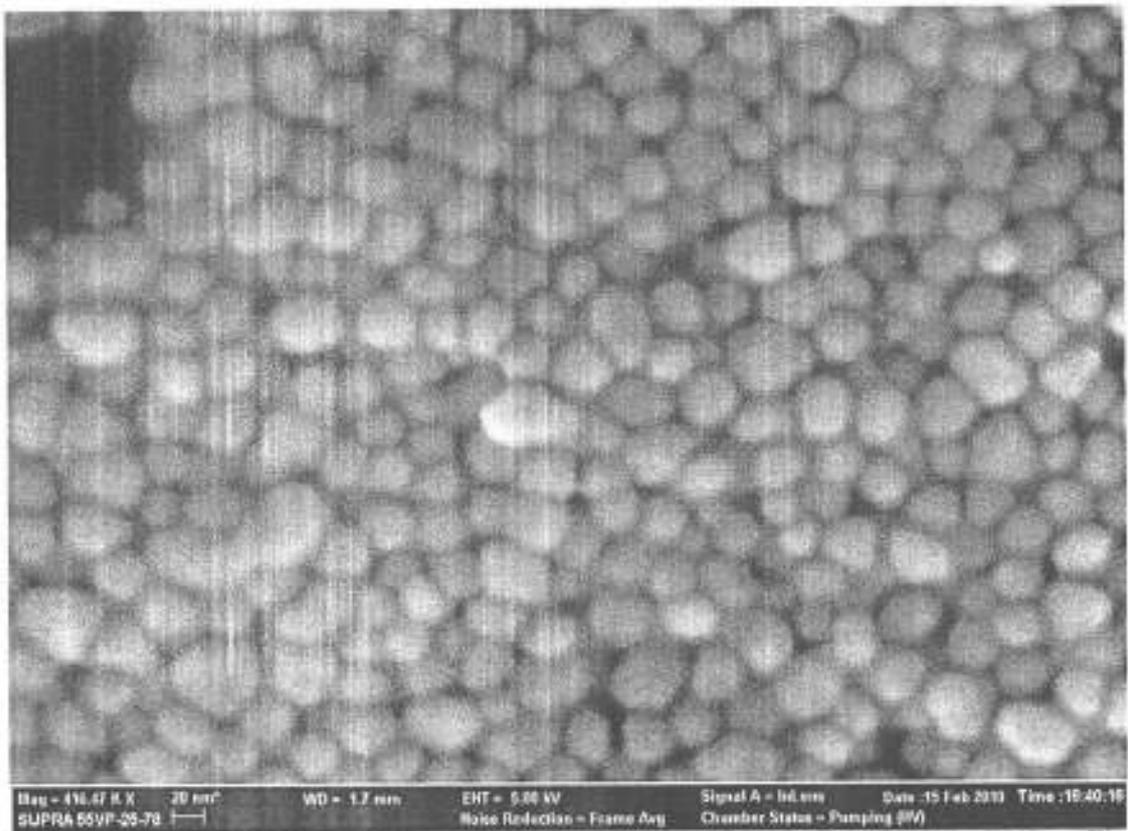
35

40

45

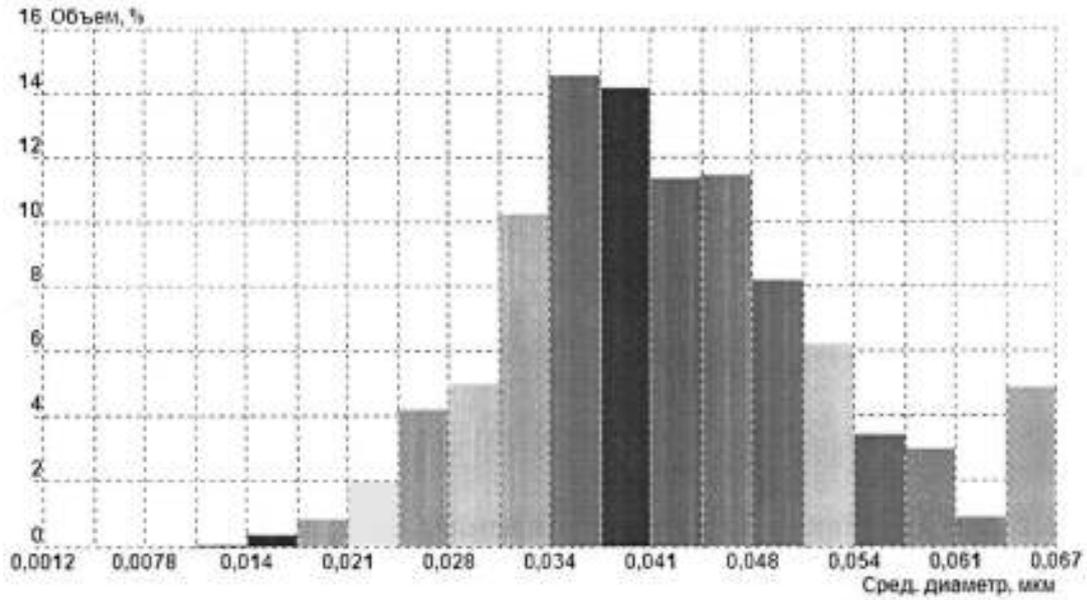


Фиг. 1

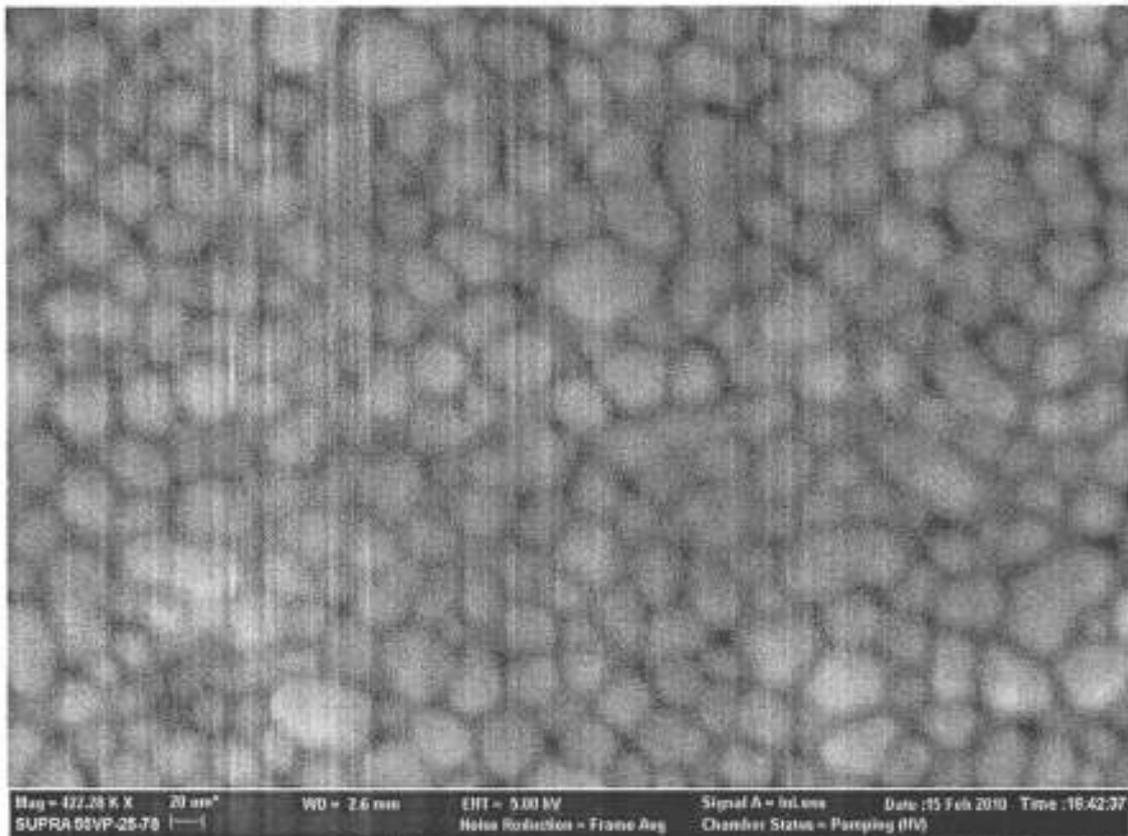


Фиг.2

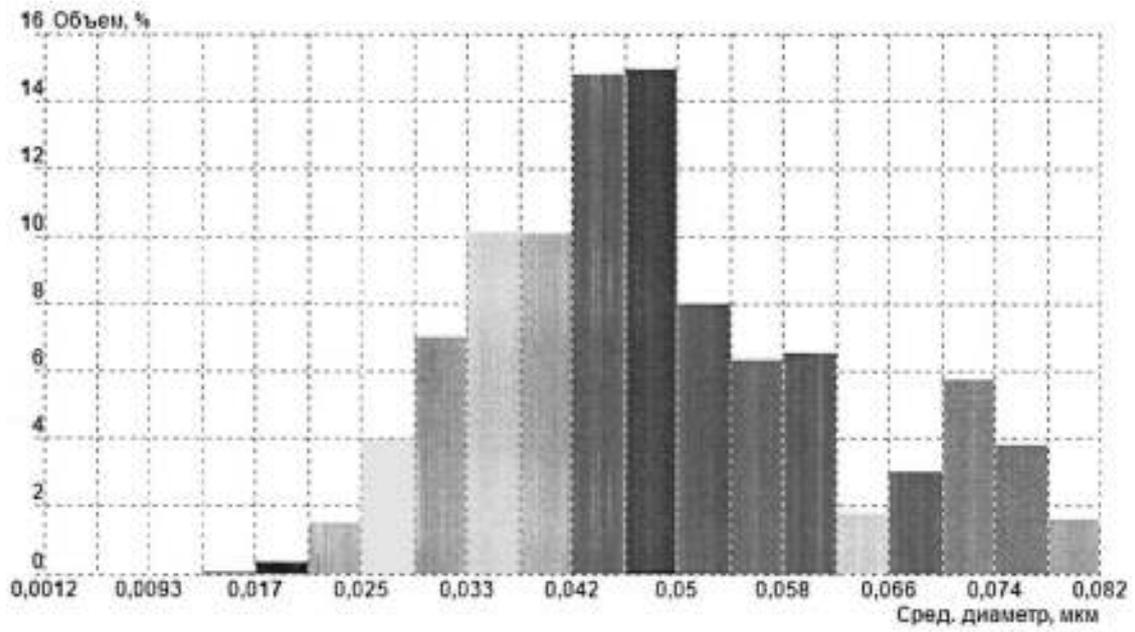
Способ формирования радиопоглощающих топологий на носителях



Фиг.3



Фиг.4



Фиг.5