

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2017-201840

(P2017-201840A)

(43) 公開日 平成29年11月9日(2017.11.9)

(51) Int.Cl.		F I		テーマコード (参考)
H O 1 P	7/06	(2006.01)	H O 1 P	7/06
H O 1 P	1/20	(2006.01)	H O 1 P	1/20
H O 1 P	3/18	(2006.01)	H O 1 P	3/18

審査請求 有 請求項の数 24 O L 外国語出願 (全 25 頁)

(21) 出願番号	特願2017-156490 (P2017-156490)	(71) 出願人	514279002
(22) 出願日	平成29年8月14日 (2017. 8. 14)		ナノトン, インコーポレイテッド
(62) 分割の表示	特願2015-510361 (P2015-510361)		アメリカ合衆国 マサチューセッツ O 2
	の分割		1 4 1, ケンブリッジ, キャナル パ
原出願日	平成25年4月29日 (2013. 4. 29)		ーク 2, 5ティーエイチ フロアー
(31) 優先権主張番号	61/640, 784	(74) 代理人	100078282
(32) 優先日	平成24年5月1日 (2012. 5. 1)		弁理士 山本 秀策
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(74) 代理人	100113413
(31) 優先権主張番号	61/782, 629		弁理士 森下 夏樹
(32) 優先日	平成25年3月14日 (2013. 3. 14)	(74) 代理人	100181674
(33) 優先権主張国	米国 (US)		弁理士 飯田 貴敏
		(74) 代理人	100181641
			弁理士 石川 大輔
		(74) 代理人	230113332
			弁護士 山本 健策

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 無線周波数 (R F) 伝導媒体

(57) 【要約】

【課題】無線周波数 (R F) 伝導媒体の提供。

【解決手段】本開示の実施形態は、全 R E ハードウェア構成要素の望ましくない挿入損失を低減させ、R F 共振空洞の Q 係数または「品質係数」を改善するための無線周波数 (R F) 伝導媒体を提供する。R F 伝導媒体は、表皮効果損失に影響されず、その延長線として、実質的に、R F エネルギーの伝導に対する抵抗がない、1 つ以上の伝導経路を横方向電磁軸に含むことによって、R F デバイスの挿入損失を低下させる。一実施形態において、多様な伝導媒体の各媒体は、銀、銅、アルミニウム、および金のうちの少なくとも 1 つである元素から成るナノ材料から作製される。

【選択図】なし

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

無線周波数（R F）伝導媒体であって、前記媒体は、
横方向電磁軸に複数の連続伝導経路を形成する多様な伝導媒体と、
前記複数の連続伝導経路の各々を包囲するサスペンション誘電体であって、前記サスペンション誘電体は、前記横方向電磁軸に対して垂直な少なくとも 1 つの軸において、前記複数の伝導経路の各々が R F エネルギーを伝搬することを遮断するように構成されており、
前記サスペンション誘電体は、前記複数の連続伝導経路の各々のために機械的支持を提供するようにさらに構成されている、サスペンション誘電体と
を備えている、R F 伝導媒体。

10

【請求項 2】

前記多様な伝導媒体の各媒体は、銀、銅、アルミニウム、金のうちの少なくとも 1 つである元素から成るナノ材料から作製されている、請求項 1 に記載の R F 伝導媒体。

【請求項 3】

前記多様な伝導媒体の各媒体は、ワイヤ、リボン、チューブ、薄片のうちの少なくとも 1 つである構造を有する、請求項 1 に記載の R F 伝導媒体。

【請求項 4】

前記複数の連続伝導経路の各々は、伝導断面積と、所望の動作周波数における表皮深度とを有する、請求項 1 に記載の R F 伝導媒体。

【請求項 5】

前記表皮深度「 δ 」は、以下によって計算され、

20

【数 9】

$$\delta = \sqrt{\frac{2\rho}{(2\pi f)(\mu_0\mu_r)}} \approx 503 \sqrt{\frac{\rho}{\mu_r f}}$$

式中、 μ_0 は、真空の透磁率であり、 μ_r は、前記伝導媒体のナノ材料の比透磁率であり、 ρ は、前記伝導媒体のナノ材料の抵抗率であり、 f は、前記所望の動作周波数である、請求項 4 に記載の R F 伝導媒体。

30

【請求項 6】

前記所望の動作周波数は、空洞フィルタの所望の共振周波数、アンテナの所望の共振周波数、導波管のカットオフ周波数、同軸ケーブルの所望の動作周波数範囲、空洞フィルタおよびアンテナを含む統合された構造の組み合わせられた動作周波数範囲のうちの少なくとも 1 つに対応する、請求項 4 に記載の R F 伝導媒体。

【請求項 7】

前記複数の連続伝導経路の各々は、表皮深度 5 0 n m ～ 4 0 0 0 n m を有する均一伝導断面積を有する、請求項 1 に記載の R F 伝導媒体。

【請求項 8】

前記複数の連続伝導経路の各々は、表皮深度 1 0 0 0 n m ～ 3 0 0 0 n m を有する均一伝導断面積を有する、請求項 1 に記載の R F 伝導媒体。

40

【請求項 9】

前記複数の連続伝導経路の各々は、表皮深度 1 5 0 0 n m ～ 2 5 0 0 n m を有する均一伝導断面積を有する、請求項 1 に記載の R F 伝導媒体。

【請求項 10】

前記複数の連続伝導経路を被覆する保護層をさらに備え、前記保護層は、所望の動作周波数において、R F エネルギーに対して非伝導性かつ低吸収性である材料を含む、請求項 1 に記載の R F 伝導媒体。

【請求項 11】

前記材料は、ポリマーコーティングおよび繊維ガラスコーティングのうちの少なくとも

50

1つである、請求項10に記載のRF伝導媒体。

【請求項12】

無線周波数（RF）伝導媒体であって、前記媒体は、

複数の連続伝導経路を形成する多様な伝導媒体であって、前記伝導媒体の各媒体は、伝導性材料である、伝導媒体と、

前記多様な伝導媒体を包囲するRF不活性材料の層であって、前記RF不活性材料は、所望の動作周波数において、RFエネルギーに対して非伝導性かつ低吸収性であり、前記RF不活性材料の層は、前記多様な伝導媒体を誘電体表面上に固定するように構成されている、RF不活性材料の層と

を備えている、媒体。

10

【請求項13】

前記RF伝導媒体を前記表面に結合するための結合剤をさらに備えている、請求項12に記載のRF伝導媒体。

【請求項14】

前記多様な伝導媒体の各媒体は、炭素および黒鉛のうちの少なくとも1つであるナノ材料から作製されている、請求項12に記載のRF伝導媒体。

【請求項15】

前記多様な伝導媒体内の各伝導媒体は、単層炭素ナノチューブ（SWCNT）、多層ナノチューブ（MWCNT）、黒鉛のうちの少なくとも1つである、請求項12に記載のRF伝導媒体。

20

【請求項16】

前記複数の連続伝導経路の各々は、伝導断面積と、所望の動作周波数における表皮深度とを有する、請求項12に記載のRF伝導媒体。

【請求項17】

前記表皮深度「δ」は、以下によって計算され、

【数10】

$$\delta = \sqrt{\frac{2\rho}{(2\pi f)(\mu_0\mu_r)}} \approx 503 \sqrt{\frac{\rho}{\mu_r f}}$$

30

式中、 μ_0 は、真空の透磁率であり、 μ_r は、前記伝導媒体のナノ材料の比透磁率であり、 ρ は、前記伝導媒体のナノ材料の抵抗率であり、 f は、前記所望の動作周波数である、請求項16に記載のRF伝導媒体。

【請求項18】

前記所望の動作周波数は、空洞フィルタの所望の共振周波数、アンテナの所望の共振周波数、導波管のカットオフ周波数、同軸ケーブルの所望の動作周波数範囲、空洞フィルタおよびアンテナを含む統合された構造の組み合わせられた動作周波数範囲のうちの少なくとも1つに対応する、請求項16に記載のRF伝導媒体。

【請求項19】

前記複数の連続伝導経路の各々は、表皮深度50nm〜4000nmを有する均一伝導断面積を有する、請求項1に記載のRF伝導媒体。

40

【請求項20】

前記複数の連続伝導経路の各々は、表皮深度1000nm〜3000nmを有する均一伝導断面積を有する、請求項1に記載のRF伝導媒体。

【請求項21】

前記複数の連続伝導経路の各々は、表皮深度1500nm〜2500nmを有する均一伝導断面積を有する、請求項1に記載のRF伝導媒体。

【請求項22】

無線周波数（RF）伝導媒体であって、前記媒体は、

50

分離した電気伝導ナノ構造の束と、

前記分離した電気伝導ナノ構造の束が誘電体表面に適用されることを可能にする結合剤であって、前記分離した電気伝導ナノ構造の束は、熱源による焼結に応答して、均一格子構造および均一伝導断面積を有する連続伝導層を形成する、結合剤と

を備えている、R F 伝導媒体。

【請求項 2 3】

前記ナノ構造は、炭素、銀、銅、アルミニウム、金のうちの少なくとも 1 つである元素から成るナノ材料から作製されている、請求項 2 2 に記載の R F 伝導媒体。

【請求項 2 4】

前記分離した電気伝導ナノ構造の束は、ワイヤ、リボン、チューブ、薄片のうちの少なくとも 1 つである伝導構造を含む、請求項 2 2 に記載の R F 伝導媒体。

【請求項 2 5】

前記連続伝導層は、均一伝導断面積と、所望の動作周波数における表皮深度とを有する、請求項 2 2 に記載の R F 伝導媒体。

【請求項 2 6】

前記表皮深度は、以下の式によって計算され、

【数 1 1】

$$\delta = \sqrt{\frac{2\rho}{(2\pi f)(\mu_0\mu_r)}} \approx 503 \sqrt{\frac{\rho}{\mu_r f}}$$

10

20

式中、 μ_0 は、真空の透磁率であり、 μ_r は、前記ナノ構造のナノ材料の比透磁率であり、 ρ は、前記ナノ構造のナノ材料の抵抗率であり、 f は、前記所望の動作周波数である、請求項 2 5 に記載の R F 伝導媒体。

【請求項 2 7】

前記所望の動作周波数は、空洞フィルタの所望の共振周波数、アンテナの所望の共振周波数、導波管のカットオフ周波数、同軸ケーブルの所望の動作周波数範囲、空洞フィルタおよびアンテナを含む統合された構造の組み合わせられた動作周波数範囲のうちの少なくとも 1 つに対応する、請求項 2 5 に記載の R F 伝導媒体。

【請求項 2 8】

前記連続伝導層は、表皮深度 $50 \text{ nm} \sim 4000 \text{ nm}$ を有する均一伝導断面積を有する、請求項 2 5 に記載の R F 伝導媒体。

【請求項 2 9】

前記連続伝導層は、表皮深度 $1000 \text{ nm} \sim 3000 \text{ nm}$ を有する均一伝導断面積を有する、請求項 2 2 に記載の R F 伝導媒体。

【請求項 3 0】

前記連続伝導層は、表皮深度 $1500 \text{ nm} \sim 2500 \text{ nm}$ を有する均一伝導断面積を有する、請求項 2 2 に記載の R F 伝導媒体。

【請求項 3 1】

前記誘電体表面は、サイズにおいて表皮深度を上回る凸凹がない表面平滑度を有する、請求項 2 2 に記載の R F 伝導媒体。

【請求項 3 2】

前記誘電体表面は、以下の式に基づく深度を上回らない深度を有する凸凹を伴う表面平滑度を有し、

【数 1 2】

$$\delta = \sqrt{\frac{2\rho}{(2\pi f)(\mu_0\mu_r)}} \approx 503 \sqrt{\frac{\rho}{\mu_r f}}$$

30

40

50

式中、 μ_0 は、真空の透磁率であり、 μ_r は、前記ナノ構造のナノ材料の比透磁率であり、 ρ は、前記ナノ構造のナノ材料の抵抗率であり、 f は、対象の動作周波数である、請求項 2 2 に記載の R F 伝導媒体。

【請求項 3 3】

前記熱源は、前記分離した伝導ナノ構造の束の各分離した伝導ナノ構造のナノ材料の原子構造および厚さに基づいて、熱の刺激を印加する、請求項 2 2 に記載の R F 伝導媒体。

【請求項 3 4】

前記連続伝導層を被覆する保護層をさらに備え、前記保護層は、所望の動作周波数において、R F エネルギーに対して非伝導性かつ低吸収性である材料を含む、請求項 2 2 に記載の R F 伝導媒体。

【請求項 3 5】

前記材料は、ポリマーコーティングおよび繊維ガラスコーティングのうちの少なくとも 1 つである、請求項 3 4 に記載の R F 伝導媒体。

【請求項 3 6】

前記誘電体表面は、前記空洞の所望の周波数応答特性に対応する内部幾何学形状を有する空洞の内側表面である、請求項 2 2 に記載の R F 伝導媒体。

【請求項 3 7】

前記分離したナノ構造の束は、第 1 の誘電体表面の外側表面および第 2 の誘電体表面の同心内側表面に適用され、前記第 1 の誘電体表面は、内側導体であり、前記第 2 の誘電体表面は、同軸ケーブルの外側導体である、請求項 2 2 に記載の R F 伝導媒体。

【請求項 3 8】

前記分離した電気伝導ナノ構造の束は、誘電体構造に適用され、前記誘電体構造の幾何学形状および前記分離した電気伝導ナノ構造の束の伝導特性は、アンテナの共振周波数応答および放射パターンを定義する、請求項 2 2 に記載の R F 伝導媒体。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

(関連出願)

本願は、米国仮出願第 61/640,784 号 (2012 年 5 月 1 日出願) および米国仮出願第 61/782,629 号 (2013 年 3 月 14 日出願) の利益を主張する。上記出願の全教示は、参照により本明細書に援用される。

【背景技術】

【0002】

電磁波または電磁放射 (EMR) は、電場成分および磁場成分の両方を有する、エネルギーの形態である。電磁波は、多くの異なる周波数を有することができる。

【0003】

現代の電気通信システムは、無線通信を電気通信システムの加入者に提供するために、電磁スペクトル内の電磁波を操作する。特に、現代の電気通信システムは、無線周波数 (R F) 波としてそれらを分類する周波数を有するそれらの波を操作する。R F 波を利用するために、電気通信システムは、フィルタ、ミキサ、増幅器、およびアンテナ等のある不可欠なハードウェア構成要素を利用する。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

本明細書に説明される技術は、R F デバイスの伝導効率を改善するための無線周波数 (R F) 伝導媒体に関する。R F 伝導媒体は、着目無線周波数において、表皮効果の影響を誘発する損失がない、1 つ以上の伝導経路を横方向電磁軸に含むことによって、R F デバイスの伝導効率を改善する。

【課題を解決するための手段】

10

20

30

40

50

【0005】

一実施形態は、横方向電磁軸に複数の連続伝導経路を形成する多様な伝導媒体を含む、無線周波数（R F）伝導媒体である。R F伝導媒体はまた、横方向電磁軸における複数の連続伝導経路の各々を周期的に包囲するサスペンション誘電体を含む。サスペンション誘電体は、横方向電磁軸と垂直な軸において、複数の伝導経路の各々がR Fエネルギーが伝搬することを周期的に遮断するように構成される。サスペンション誘電体はさらに、複数の連続伝導経路の各々のために機械的支持を提供するように構成される。

【0006】

ある実施形態では、複数の連続伝導経路の各々は、伝導経路の複数の伝導層内の伝導層であり得る。複数の伝導層の各々は、構造化され、複数の伝導層の他の層に対して均一位置または配列を有し得る。別の実施形態では、複数の伝導層の各々は、構造化されず、複数の伝導層の他の層に対して、メッシュ配列を有し得る。

10

【0007】

いくつかの実施形態では、横方向電磁軸は、R F伝導媒体が適用される表面と平行な軸である。他の実施形態では、横方向電磁軸は、R F伝導媒体が適用される表面と同一平面にある軸である。

【0008】

R F伝導媒体はまた、誘電体表面上へのR F伝導媒体の適用の間、R F伝導媒体を粘性状態に維持するように構成されている、溶媒を含み得る。溶媒は、熱源による刺激に応答して蒸発するように構成される。

20

【0009】

多様な伝導媒体の各媒体は、銀、銅、アルミニウム、および金のうちの少なくとも1つである元素から成るナノ材料から作製され得る。また、多様な伝導媒体の各媒体は、ワイヤ、リボン、チューブ、および薄片のうちの少なくとも1つである構造を有し得る。

【0010】

加えて、複数の連続伝導経路の各々は、所望の動作周波数において、表皮深度を上回らない伝導断面積を有し得る。ある実施形態では、表皮深度「 δ 」は、以下によって計算され得、

【0011】

【数1】

30

$$\delta = \sqrt{\frac{2\rho}{(2\pi f)(\mu_0\mu_r)}} \approx 503 \sqrt{\frac{\rho}{\mu_r f}}$$

【0012】

式中、 μ_0 は、真空の透磁率であり、 μ_r は、伝導媒体のナノ材料の比透磁率であり、 ρ は、伝導媒体のナノ材料の抵抗率であり、 f は、所望の動作周波数である。

【0013】

所望の動作周波数は、空洞フィルタの所望の共振周波数、アンテナの所望の共振周波数、導波管のカットオフ周波数、同軸ケーブルの所望の動作周波数範囲、ならびに空洞フィルタおよびアンテナを含む統合された構造の組み合わせられた動作周波数範囲のうちの少なくとも1つに対応し得る。

40

【0014】

複数の連続伝導経路の各々は、表皮深度50nm－4000nmを有する均一伝導断面積を有し得る。他の実施例では、複数の連続伝導経路の各々は、表皮深度1000nm－3000nmを有する均一伝導断面積を有し得る。さらに別の実施例では、複数の連続伝導経路の各々は、表皮深度1500nm－2500nmを有する均一伝導断面積を有し得る。

【0015】

R F伝導媒体はまた、連続伝導経路の複数の層を被覆する保護層を含み得、保護層は、

50

所望の動作周波数において、R Fエネルギーに対して非伝導性かつ低吸収性である材料を含む。材料は、ポリマーコーティングおよび繊維ガラスコーティングのうちの少なくとも1つであり得る。

【0016】

別の実施形態は、複数の連続伝導経路を形成する多様な伝導媒体を含む、無線周波数（R F）伝導媒体である。伝導媒体の各媒体は、横方向電磁軸において伝導性であり、横方向電磁軸と垂直な軸においてほとんど伝導しない材料から作製される。R F伝導媒体はまた、多様な伝導媒体を包囲するR F不活性材料の層を含む。

【0017】

R F不活性材料は、所望の動作周波数において、R Fエネルギーに対して非伝導性かつ低吸収性である。また、R F不活性材料の層は、多様な伝導媒体を誘電体表面上に固定するように構成される。R F不活性材料は、ポリマーコーティングおよび繊維ガラスコーティングのうちの少なくとも1つであり得る。

【0018】

R F伝導媒体はまた、R F伝導媒体を表面に結合するための結合剤を含み得る。R F伝導媒体はさらに、誘電体表面上へのR F伝導媒体の適用の間、R F伝導媒体を粘性状態に維持するように構成されている、溶媒を含み得る。溶媒はさらに、熱源による刺激にตอบสนองして蒸発するように構成される。

【0019】

多様な伝導媒体の各媒体は、炭素および黒鉛のうちの少なくとも1つである元素から成るナノ材料から作製され得る。また、多様な伝導媒体内の各伝導媒体は、単層炭素ナノチューブ（S W C N T）、多層炭素ナノチューブ（M W C N T）、および黒鉛のうちの少なくとも1つであり得る。

【0020】

加えて、複数の連続伝導経路の各々は、所望の動作周波数において、表皮深度を上回らない伝導断面積を有し得る。ある実施形態では、表皮深度「 δ 」は、以下によって計算され得、

【0021】

【数2】

$$\delta = \sqrt{\frac{2\rho}{(2\pi f)(\mu_0\mu_r)}} \approx 503 \sqrt{\frac{\rho}{\mu_r f}}$$

【0022】

式中、 μ_0 は、真空の透磁率であり、 μ_r は、伝導媒体のナノ材料の比透磁率であり、 ρ は、伝導媒体のナノ材料の抵抗率であり、 f は、所望の動作周波数である。

【0023】

所望の動作周波数は、空洞フィルタの所望の共振周波数、アンテナの所望の共振周波数、導波管のカットオフ周波数、同軸ケーブルの所望の動作周波数範囲、ならびに空洞フィルタおよびアンテナを含む統合された構造の組み合わせられた動作周波数範囲のうちの少なくとも1つに対応し得る。

【0024】

複数の連続伝導経路の各々は、表皮深度50nm－4000nmを有する均一伝導断面積を有し得る。他の実施例では、複数の連続伝導経路の各々は、表皮深度1000nm－3000nmを有する均一伝導断面積を有し得る。さらに別の実施例では、複数の連続伝導経路の各々は、表皮深度1500nm－2500nmを有する均一伝導断面積を有し得る。

【0025】

さらなる実施形態は、無線周波数（R F）伝導媒体である。R F伝導媒体は、分離した電気伝導ナノ構造の束を含む。加えて、R F伝導媒体は、分離した電気伝導ナノ構造の束

10

20

30

40

50

が誘電体表面に適用されることを可能にする結合剤を含む。分離した電気伝導ナノ構造の束は、熱源による焼結に応答して、均一格子構造および均一伝導断面積を有する連続伝導層を形成する。熱源は、分離した電気伝導ナノ構造の束の各分離した伝導ナノ構造のナノ材料の原子構造および厚さに基づいて、熱の刺激を印加し得る。

【0026】

ナノ構造の各々は、炭素、銀、銅、アルミニウム、および金のうちの少なくとも1つである元素から成るナノ材料から作製され得る。また、分離した伝導ナノ構造の各々は、ワイヤ、リボン、チューブ、および薄片のうちの少なくとも1つである伝導構造であり得る。

【0027】

連続伝導層は、所望の動作周波数において、表皮深度を上回らない均一伝導断面積を有し得る。ある実施形態では、表皮深度「 δ 」は、以下によって計算され得、

【0028】

【数3】

$$\delta = \sqrt{\frac{2\rho}{(2\pi f)(\mu_0\mu_r)}} \approx 503 \sqrt{\frac{\rho}{\mu_r f}}$$

【0029】

式中、 μ_0 は、真空の透磁率であり、 μ_r は、伝導媒体のナノ材料の比透磁率であり、 ρ は、伝導媒体のナノ材料の抵抗率であり、 f は、所望の動作周波数である。

【0030】

所望の動作周波数は、空洞フィルタの所望の共振周波数、アンテナの所望の共振周波数、導波管のカットオフ周波数、同軸ケーブルの所望の動作周波数範囲、ならびに空洞フィルタおよびアンテナを含む統合された構造の組み合わせられた動作周波数範囲のうちの少なくとも1つに対応し得る。

【0031】

連続伝導層は、表皮深度 50 nm – 4000 nm を有する均一伝導断面積を有し得る。他の実施例では、連続伝導層は、表皮深度 1000 nm – 3000 nm を有する均一伝導断面積を有し得る。さらに別の実施例では、連続伝導層は、表皮深度 1500 nm – 2500 nm を有する均一伝導断面積を有し得る。

【0032】

誘電体表面は、サイズにおいて表皮深度を上回る凸凹がない表面平滑度を有し得る。ある実施形態では、誘電体表面は、以下によって計算される深度「 δ 」を上回らない深度を有する凸凹を伴う表面平滑度を有し得、

【0033】

【数4】

$$\delta = \sqrt{\frac{2\rho}{(2\pi f)(\mu_0\mu_r)}} \approx 503 \sqrt{\frac{\rho}{\mu_r f}}$$

【0034】

式中、 μ_0 は、真空の透磁率であり、 μ_r は、伝導媒体のナノ材料の比透磁率であり、 ρ は、伝導媒体のナノ材料の抵抗率であり、 f は、所望の動作周波数である。

【0035】

RF 伝導媒体はまた、連続伝導層を被覆する保護層を含む。保護層は、所望の動作周波数において、RF エネルギーに対して非伝導性かつ低吸収性である材料を含む。材料は、ポリマーコーティングおよび繊維ガラスコーティングのうちの少なくとも1つであり得る。

【0036】

10

20

30

40

50

誘電体表面は、空洞の所望の周波数応答特性に対応する内部幾何学形状を有する空洞の内側表面であり得る。別の実施形態では、分離したナノ構造の束は、第1の誘電体表面の外側表面および第2の誘電体表面の同心内側表面に適用され得る。第1の誘電体表面は、内側導体であり、第2の誘電体表面は、同軸ケーブルの外側導体である。また、分離した電気伝導ナノ構造の束は、誘電体構造に適用され得、誘電体構造の幾何学形状および分離した電気伝導ナノ構造の束の伝導特性は、アンテナの共振周波数応答および放射パターンを定義する。

【図面の簡単な説明】

【0037】

前述は、同様の参照文字が異なる図を通して同一の部品を指す、付随の図面に図示されるように、本開示の例示的实施形態の以下のより具体的説明から明白となるであろう。図面は、必ずしも、正確な縮尺ではなく、代わりに、本開示の実施形態を図示する際、強調が置かれる。

【図1】図1は、本開示の例示的实施形態による、長方形導波管空洞の概略図である。

【図2】図2は、本開示の例示的实施形態による、無線周波数(RF)伝導媒体を含む、空洞共振器の概略図である。

【図3】図3は、本開示の例示的实施形態による、連続伝導層を形成する分離した伝導ナノ構造の束から成る、RF伝導媒体の概略図である。

【図4A】図4A-Bは、本開示の例示的实施形態による、構造誘電体の表面上に適用されたRF伝導媒体の断面図である。

【図4B】図4A-Bは、本開示の例示的实施形態による、構造誘電体の表面上に適用されたRF伝導媒体の断面図である。

【図5】図5は、本開示の例示的实施形態による、構造誘電体の上に適用された高度に構造化されたRF伝導媒体の断面図である。

【発明を実施するための形態】

【0038】

本開示の例示的实施形態の説明が続く。

【0039】

現代の電気通信システムは、無線周波数(RF)波としてそれらを分類する電磁スペクトル内の波長の範囲を有する電磁波を操作する。RF波を利用するために、電気通信システムは、フィルタ、ミキサ、増幅器、およびアンテナ等のある不可欠なRFハードウェア構成要素を採用する。

【0040】

RFハードウェア構成要素は、RF伝導要素を介して、RF波と相互作用する。RF伝導要素は、概して、アルミニウム、銅、銀、および金等のRF伝導媒体から成る。しかしながら、従来のRF伝導媒体の構造は、RFエネルギーの伝導を妨害する有効電気抵抗に悩まされ、有効電気抵抗は、全RFハードウェア構成要素への望ましくない挿入損失の導入、および共振空洞フィルタのような特定のRFハードウェア構成要素のQ係数の低下。

【0041】

RFハードウェア構成要素を通したRFエネルギーの伝導の望ましくない損失の主な物理的機構は、表皮効果である。表皮効果は、印加されたRFエネルギーによって誘発される伝導媒体中の交互する電子流の結果である、導体中の逆起電力によって生じる。その名称が示唆するように、表皮効果は、「表皮深度」として定義される領域である、導体の表面において、電子流の大部分を流動させる。表皮効果は、多くの場合、その物理的断面のわずかな割合まで、導体の有効断面積を縮小させる。導体の有効表皮深度は、周波数依存性質であり、これは、波長に反比例する。これは、周波数が高いほど、表皮深度をより浅くし、その延長線として、有効RF伝導損失が大きくなることを意味する。

【0042】

本明細書に説明される技術は、RFハードウェア構成要素のRF伝導損失を低減させるための無線周波数(RF)伝導媒体(以下、「技術」)に関する。本技術によって生成さ

れる R F 伝導媒体は、導体中の逆起電力の形成を妨げることによって、R F デバイスの R F 伝導損失を低減させる。

【0043】

文脈上、限定ではないが、本明細書の技術は、R F 空洞共振器に照らして説明される。しかしながら、本技術は、R F 波と相互作用するように構成される R F 伝導媒体を要求する任意の R F 構成要素に適用されることができると留意されたい。例えば、R F 構成要素は、アンテナ、導波管、同軸ケーブル、ならびに、空洞フィルタおよびアンテナを含む統合された構造であることができる。

【0044】

図 1 は、長方形無線周波数 (R F) 導波管空洞フィルタ 101 の概略図である。R F 空洞フィルタ 101 は、ほとんどの R F 空洞共振器のように、典型的には、無線周波数電磁場を壁 110 a-n によって画定される空洞 100 内に閉じ込める、「閉鎖金属構造」として定義される。空洞フィルタ 101 は、特定の周波数応答を伴う、低損失共振回路として作用し、分離した誘導 (L) 構成要素と容量 (C) 構成要素とから成る古典的共振回路に類似する。しかしながら、従来の LC 回路と異なり、空洞フィルタ 101 は、フィルタの設計波長 (すなわち、空洞フィルタ 101 の物理的内部幾何学形状) において、超低エネルギー損失を呈する。これは、空洞フィルタ 101 の Q 係数が、LC 「タンク」回路等の分離構成要素共振器のものを数百倍上回ることを意味する。

【0045】

任意の共振回路または構造 (例えば、空洞フィルタ 101) の Q 係数は、共振回路または構造がそこに印加されるエネルギーを減衰させる程度を評価する。したがって、Q 係数は、共振回路または構造内に貯蔵されたエネルギーと、振動サイクルあたりの共振回路または構造内で消散されるエネルギーの比率として表され得る。サイクルあたり消散されるエネルギーが少ないほど、Q 係数は高くなる。例えば、Q 係数「Q」は、以下によって定義されることができる。

【0046】

【数 5】

$$Q = 2\pi \times \frac{\text{Energy Stored}}{\text{Energy dissipated per cycle}} = 2\pi f_r \times \frac{\text{Energy Stored}}{\text{Power Loss}}.$$

【0047】

(式 1)

式中、 f_r は、回路または構造の共振周波数である。

【0048】

空洞フィルタ 101 の Q 係数は、(a) 空洞フィルタ 101 の誘電体媒体 115 中の電力損失と、(b) 空洞フィルタ 101 の壁 110 a-n での電力損失の 2 つの要因によって影響を受ける。空洞フィルタ 101 等の空洞共振器ベースのフィルタの実践用途では、誘電体媒体 115 は、多くの場合、空気である。空気によって誘発される損失は、一般に、モバイルブロードバンド通信のために使用される、より低いマイクロ波スペクトル内の周波数では、微小であると見なされ得る。したがって、空洞フィルタ 101 の壁 110 a-n での導体損失は、空洞フィルタ 101 のより低い有効 Q 係数およびより高い挿入損失に最も寄与する。

【0049】

例えば、空洞フィルタ 101 の Q 係数「Q」は、以下によって定義されることができる。

【0050】

【数 6】

$$Q = \left(\frac{1}{Q_c} + \frac{1}{Q_d} \right)^{-1}$$

【0051】

(式 2)

式中、 Q_c は、空洞壁の Q 係数であり、 Q_d は、誘電体媒体の Q 係数である。

【0052】

前述のように、誘電体媒体（例えば、空気）115 の RF 伝導損失は、より低いマイクロ波スペクトルにおける RF エネルギーが、空気および他の共通空洞誘電体とほとんど相互作用しないため、無視可能である。したがって、空洞フィルタ 101 の壁 110 a-n の RF 伝導率「 Q_c 」は、空洞フィルタ 101 の品質係数（quality factor）「Q」に最も寄与する。壁 110 a-n の RF 伝導率「 Q_c 」の品質係数寄与度は、以下によって定義されることができる。

【0053】

【数 7】

$$Q_c = \frac{(kad)^3 b \eta}{2\pi^2 R_s} \frac{1}{2l^2 a^3 b + 2bd^3 + l^2 a^3 d + ad^3}$$

10

20

【0054】

(式 3)

式中、 k = 波数であり、 n = 誘電体インピーダンスであり、 R_s = 空洞壁 110 a-n の表面抵抗率であり、 $a/b/d$ は、空洞フィルタ 101 の物理的寸法である。したがって、空洞壁 110 a-n の表面抵抗率「 R_s 」の値の増加は、 Q_c の値を低下させ、それによって、空洞フィルタ 101 の Q 係数を低減させる。

【0055】

空洞フィルタ 101 および他の RF デバイスの Q 係数を増加させるために、本発明の実施形態は、空洞フィルタ 101 等の RF デバイスの RF 伝導要素の表面抵抗率「 R_s 」を低減させる、RF 伝導媒体を提供する。

30

【0056】

図 2 は、無線周波数（RF）伝導媒体 205 を含む、無線周波数（RF）空洞共振器 200 の概略図である。空洞共振器 200 は、構造誘電体 210 を含む。構造誘電体 210 は、空洞 216 を画定する。空洞 216 は、空洞共振器 200 の所望の周波数応答特性に対応する内部幾何学形状を有する。特に、内部幾何学形状は、所望の無線周波数を増強させ、望ましくない無線周波数を減衰させる。

【0057】

構造誘電体 210 は、低比誘電率を伴う材料から成る。また、構造誘電体 210 の材料は、高共形性の潜在性を有する。例えば、構造誘電体 210 の材料は、構造誘電体 210 が複雑かつ平滑に遷移する幾何学形状に適合することを可能にする。構造誘電体 210 の材料はまた、熱応力下、高寸法安定性を有する。例えば、材料は、構造誘電体 210 が、空洞共振器が典型的動作環境において経験し得る熱応力下、変形することを防止する。別の実施形態では、構造誘電体 210 の材料は、機械応力下において高寸法安定性を有し、材料は、構造誘電体 210 が典型的動作用途において被る機械応力において、凹む、撓む、または別様に機械的に変形することを防止する。

40

【0058】

加えて、構造誘電体 210 は、高表面平滑度を伴う内部表面 211 を有する。特に、内部表面 211 は、実質的に、表面凸凹がない。ある実施形態では、誘電体表面 211 は、

50

無線周波数（R F）空洞共振器 2 0 0 の所望の動作周波数において、深度「 δ 」を上回らない深度を有する凸凹を伴う表面平滑度であり得る。

【0 0 5 9】

空洞共振器 2 0 0 はまた、R F 入力ポート 2 3 0 a および R F 出力ポート 2 3 0 b を含む。ある実施例では、R F 入力ポート 2 3 0 a および R F 出力ポート 2 3 0 b は、S u b M i n i a t u r e バージョン A（S M A）コネクタであることができる。R F 入力ポート 2 3 0 a および R F 出力ポート 2 3 0 b は、銅、金、ニッケル、および銀等の R F 伝導材料から作製されることができる。

【0 0 6 0】

R F 入力ポート 2 3 0 a は、連結ループ 2 3 5 a に電氣的に連結される。R F 入力ポート 2 3 0 a は、振動 R F 電磁信号を同軸ケーブル（図示せず）等の R F 伝送媒体から受信する。振動 R F 電磁信号の受信に応答して、R F 入力ポート 2 3 0 a は、連結ループ 2 3 5 a を介して、受信された R F 電磁信号に対応する振動電場および磁場（すなわち、R F 電磁波）を放射する。

【0 0 6 1】

本明細書に記載のように、空洞 2 1 6 は、空洞共振器 2 0 0 の所望の周波数応答特性に対応する内部幾何学形状を有する。特に、内部幾何学形状は、空洞共振器 2 0 0 の所望の周波数応答特性に対応する無線周波数の範囲を増強させ、望ましくない無線周波数を減衰させる。加えて、空洞共振器 2 0 0 はまた、共振器要素 2 2 0 を含む。共振器要素 2 2 0 は、本実施例では、構造誘電体 2 1 0 によって形成される。しかしながら、共振器要素 2 2 0 は、空洞共振器 2 0 0 内の別個かつ異なる構造であることができることに留意されたい。共振器要素 2 2 0 は、所望の無線周波数をさらに増強させ、望ましくない無線周波数を減衰させる共振寸法および全体的構造幾何学形状を有する。

【0 0 6 2】

受信された R F 電磁信号に対応する電磁波は、空洞 2 1 6 内で共振モードまたは複数のモードを誘発する。そうすることによって、電磁波は、R F 伝導媒体 2 0 5 と相互作用する。特に、電磁波は、R F 伝導媒体 2 0 5 内で交流電流（A C）を誘発する。本明細書に説明されるように、本開示の実施形態は、R F 伝導媒体 2 0 5 に、低有効表面伝導抵抗率「 R_s 」をもたらす構造および組成を有する R F 伝導媒体 2 0 5 を提供する。低表面伝導抵抗率「 R_s 」は、R F 伝導媒体 2 0 5 が、高効率レベルで空洞 2 1 6 内の共振モードを支持し、それによって、空洞共振器 2 0 0 の品質係数「Q」を増加させることを可能にする。

【0 0 6 3】

増強された着目周波数は、連結ループ 2 3 5 b 内に A C 信号を誘発する。A C 信号は、空洞共振器 2 0 0 から、R F 出力 2 3 0 b を介して出力される。R F 出力 2 3 0 b は、伝送媒体（図示せず）に電氣的に連結され、A C 信号をアンテナまたは受信機等の R F ハードウェア構成要素に通す。

【0 0 6 4】

R F 伝導媒体 2 0 5 はまた、R F 伝導媒体を被覆する保護層（例えば、図 4 の層 3 0 6）を含むことができる。保護層は、空洞共振器 2 0 0 の所望の動作周波数において、R F エネルギーに対して非伝導性かつ低吸収性である材料から成ることができる。材料は、ポリマーコーティングおよび繊維ガラスコーティングのうちの少なくとも 1 つであり得る。

【0 0 6 5】

図 3 は、本開示の例示的实施形態による、連続伝導層 3 4 0 を形成する分離した伝導ナノ構造の束から成る R F 伝導媒体 3 0 5 の概略図である。

【0 0 6 6】

R F 伝導媒体 3 0 5 は、分離した電気伝導ナノ構造の束を含む。ナノ構造の各々は、炭素、銀、銅、アルミニウム、および金のうちの少なくとも 1 つである元素から成るナノ材料から作製され得る。また、分離した伝導ナノ構造の各々は、ワイヤ、リボン、チューブ、および薄片のうちの少なくとも 1 つである伝導構造であり得る。ナノ材料は、マクロス

10

20

30

40

50

ケールにおける材料の溶融温度のわずかな割合の焼結温度を有し得る。例えば、銀（A g）は、961℃で溶融する一方、ナノ銀（A g）は、300℃をはるかに下回って焼結し得る。

【0067】

加えて、R F伝導媒体305は、分離した電気伝導ナノ構造の束が構造誘電体310の表面345に適用されることを可能にする結合剤（図示せず）を含む。分離した電気伝導ナノ構造の束は、熱源による焼結に応答して、連続伝導層340を形成する。分離した電気伝導ナノ構造の各々のサイズは、連続伝導層340が、空洞共振器200の所望の動作周波数において、表皮深度「 δ 」を上回らない均一伝導断面積を有するように選定され得る。連続伝導層340は、均一格子構造および均一伝導断面積を有する。熱源は、分離した電気伝導ナノ構造の束の各分離した伝導ナノ構造のナノ材料の原子構造および厚さに基づいて、熱の刺激を印加し得る。例えば、熱源によって印加される熱の温度および熱が印加される時間の長さは、分離した電気伝導ナノ構造の束の各分離した伝導ナノ構造のナノ材料の原子構造および厚さの関数である。当技術分野において公知または未だ公知ではない任意の熱源が、使用され得る。

【0068】

前述のように、R F電磁波は、R F伝導媒体305内に交流電流（A C）を誘発する。A Cの場合、A C抵抗に及ぼす構造の断面積の影響は、直流電流（D C）抵抗に対するものと根本的に異なる。例えば、直流電流は、導体の体積全体を通して伝搬し得る。交流電流（R F電磁波によって產生されるもの等）は、伝導媒体の表面に非常に近い限られた面積内のみを伝搬する。導体の表面近傍を伝搬する交流電流のこの傾向は、「表皮効果」として知られる。空洞共振器200等のR Fデバイスでは、表皮効果は、使用可能伝導断面積を空洞の内側構造の表面における非常に薄い層まで減少させる。したがって、表皮効果は、空洞のQ係数を低減させる、共振空洞内のR F伝導損失の少なくとも1つの有意な機構である。

【0069】

したがって、連続伝導層340は、空洞共振器（例えば、図2の空洞共振器200）の所望の動作周波数において、表皮深度「 δ 」を上回らない均一伝導断面積を有し得る。ある実施形態では、表皮深度「 δ 」は、以下によって計算され得、

【0070】

【数8】

$$\delta = \sqrt{\frac{2\rho}{(2\pi f)(\mu_0\mu_r)}} \approx 503 \sqrt{\frac{\rho}{\mu_r f}}$$

【0071】

（式4）

式中、 μ_0 は、真空の透磁率であり、 μ_r は、ナノ構造のナノ材料の比透磁率であり、 ρ は、ナノ構造のナノ材料の抵抗率であり、 f は、所望の動作周波数である。以下の表1は、一組の無線周波数に対する式4の例示的適用を図示する。しかしながら、表皮深度「 δ 」を決定する任意の他の公知または未だ公知ではない方法も、式4の代わりに、使用されることができると留意されたい。

【0072】

【表1】

周波数	700 MHz	800 MHz	1900 MHz	2100 MHz	2500 MHz
皮膚深度	2870 nm	2690 nm	1749 nm	1660 nm	1520 nm

表1

【0073】

ある実施形態では、連続伝導層340は、表皮深度50nm－4000nmを有する均

一伝導断面積を有し得る。別の実施形態では、連続伝導層 340 は、表皮深度 1000 nm - 3000 nm を有する均一伝導断面積を有し得る。さらに別の実施例では、連続伝導層 340 は、表皮深度 1500 nm - 2500 nm を有する均一伝導断面積を有し得る。

【0074】

図 4A は、構造誘電体 410 の表面 445 上に適用された RF 伝導媒体 405 の断面図である。特に、断面図は、軸 475（すなわち、図を左右に走る）が、横方向電磁軸 480（すなわち、図中に走る軸）と垂直な軸であるような配向にある。RF 伝導媒体 405 は、多様な伝導媒体 470 を含む。多様な伝導媒体 470 は、横方向電磁軸 480 に複数の連続伝導経路（例えば、図 4B の連続伝導経路 490a-n）を形成する。

【0075】

多様な RF 伝導媒体 470 の各媒体は、銀、銅、アルミニウム、炭素、および黒鉛のうちの少なくとも 1 つである元素から成るナノ材料から作製される。元素が、銀、銅、およびアルミニウムのうちの少なくとも 1 つである実施例では、多様な伝導媒体の各媒体 470 は、ワイヤ、リボン、チューブ、および薄片のうちの少なくとも 1 つである構造を有する。元素が、炭素および黒鉛のうちの少なくとも 1 つである実施例では、多様な伝導媒体 470 内の各伝導媒体は、単層炭素ナノチューブ（SWCNT）、多層ナノチューブ（MWCNT）、および黒鉛のうちの少なくとも 1 つである。

【0076】

また、複数の連続伝導経路 490a-n の各々は、例えば、空洞共振器（例えば、図 2 の空洞共振器 200）の所望の動作周波数において、表皮深度を上回らない伝導断面積を有し得る。ある実施形態では、表皮深度「 δ 」は、式 4 に従って計算され得る。

【0077】

ある実施形態では、複数の連続伝導経路の各々は、表皮深度 50 nm - 4000 nm を有する均一伝導断面積を有し得る。他の実施例では、複数の連続伝導経路の各々は、表皮深度 1000 nm - 3000 nm を有する均一伝導断面積を有し得る。さらに別の実施例では、複数の連続伝導経路の各々は、表皮深度 1500 nm - 2500 nm を有する均一伝導断面積を有し得る。

【0078】

所望の動作周波数「 f 」はまた、アンテナの所望の共振周波数、導波管のカットオフ周波数、同軸ケーブルの所望の動作周波数範囲、ならびに空洞フィルタおよびアンテナを含む統合された構造の組み合わせられた動作周波数範囲のうちの少なくとも 1 つに対応し得ることに留意されたい。

【0079】

サスペンション誘電体（suspension dielectric）460 は、横方向電磁軸における複数の伝導経路 490a-n の各々を周期的に包囲する。特に、サスペンション誘電体 460 は、複数の伝導経路 490a-n の各々が、軸 475（すなわち、横方向電磁軸 480 と垂直な軸）において RF エネルギーを伝搬することを周期的に遮断する。サスペンション誘電体 460 はまた、複数の伝導経路 490a-n の各々に機械的支持を提供するように構成されることができる。

【0080】

多様な RF 伝導媒体 470 の各媒体が、銀、銅、およびアルミニウムのうちの少なくとも 1 つである元素から成るナノ材料から作製される例示的实施形態では、サスペンション誘電体 460 は、所望の動作周波数において、RF エネルギーとほとんど相互作用しない、構造的に強く、かつ熱的に安定な材料から成る。

【0081】

多様な RF 伝導媒体 470 の各媒体が、炭素および黒鉛のうちの少なくとも 1 つである元素から成るナノ材料から作製される別の例示的实施形態では、サスペンション誘電体 460 は、空気である。そのような場合、サスペンション誘電体 460 は、例えば、単層炭素ナノチューブ（SWCNT）、多層ナノチューブ（MWCNT）、および黒鉛が、横方向電磁軸 480 において本質的に伝導性であり、軸 475 においてほとんど伝導しない材

10

20

30

40

50

料であるため、空気から成ることができる。

【0082】

本実施例では、RF伝導媒体405は、RF透明保護層450を含む。RF透明保護層450は、複数の連続伝導経路490a-nを被覆する。保護層405は、例えば、空洞共振器（例えば、図2の空洞共振器200）の所望の動作周波数において、RFエネルギーに対して非伝導性かつ低吸収性である材料を含む。例示的实施形態では、材料は、ポリマーコーティングおよび繊維ガラスコーティングのうちの少なくとも1つであることができる。本実施例では、RF伝導媒体405は、RF透明保護層450を含むが、RF伝導媒体405の他の例示的实施形態は、RF透明保護層450を含まないこともある。

【0083】

RF伝導媒体405はまた、結合剤（図示せず）を含み得る。結合剤は、RF伝導媒体405を構造誘電体410の表面445に結合するように構成される。加えて、RF伝導媒体405はまた、溶媒（図示せず）を含み得る。溶媒は、表面445上へのRF伝導媒体405の適用の間、RF伝導媒体405を粘性状態に維持するように構成される。溶媒はさらに、熱源による刺激に応答して蒸発するように構成される。熱源は、ある実施例では、RF伝導媒体405を包囲する空気の周囲温度であることができる。

【0084】

図4Bは、構造誘電体410の表面445上に適用されたRF伝導媒体405の断面図である。特に、断面図は、軸475（すなわち、図上を上下に走る）が、横方向電磁軸480（すなわち、図上を左右に走る軸）に垂直な軸であるような配向にある。図示されるように、複数の連続伝導経路490a-nは、RF電磁波が、経路490a-nの各々に沿って、主に、横方向電磁軸480にのみ進行する交流電流を誘発するように、横方向電磁軸480に配向される。

【0085】

交流電流が、経路490a-nの各々に沿って、主に、横方向電磁軸480にのみ進行するために、サスペンション誘電体460は、複数の伝導経路490a-nの各々を周期的に包囲する。特に、サスペンション誘電体は、軸475において、複数の伝導経路490a-nの各々がRFエネルギー（例えば、交流電流）を伝搬することを周期的に遮断する。ある点、例えば、点495において、サスペンション誘電体460は、RFエネルギーが、ある経路（例えば、経路409b）から別の経路（例えば、経路490n）に通過するための手段を提供する。

【0086】

連続伝導経路490a-nの各々が、前述のように、RFデバイス（例えば、図2の空洞共振器200）の所望の動作周波数において、表皮深度「 δ 」を上回らない伝導断面積を有する実施形態では、サスペンション誘電体460によって提供される周期的RF遮断は、RF伝導媒体405が、RF伝導のための増加した断面積を有することを可能にし、その成分要素（例えば、経路490a-n）は、表皮効果損失を被らない。

【0087】

図5は、RFデバイス（例えば、図2の空洞共振器200）の構造誘電体510の表面545に適用された、RF透明保護層550（例えば、図4A-Bの保護層450）を含むRF伝導媒体505の断面図である。特に、断面図は、軸575（すなわち、図上を左右に走る）が、横方向電磁軸580（すなわち、図上を上下に走る軸）と垂直な軸であるような配向にある。RF伝導媒体505は、RF電磁波が、経路590a-nの各々に沿って、主に、横方向電磁軸580にのみ進行する交流電流を誘発するように、横方向電磁軸580に配向される複数の連続伝導経路590を含む。

【0088】

多様な伝導媒体は、構造化され、複数の連続伝導経路590の構造化された配列を形成するように周期的に配列される。複数の連続伝導経路の590の各々は、誘電体媒体560（例えば、図4A-Bのサスペンション誘電体460）によって近隣連続伝導経路から周期的に遮断される。誘電体媒体560は、軸575において、複数の伝導経路590の

10

20

30

40

50

各々が R F エネルギー（例えば、交流電流）を伝搬することを周期的に遮断する。ある点において、R F 短絡 5 9 5 は、R F エネルギーが、ある経路から別の経路に通過するための手段を提供する。複数の連続伝導経路 5 9 0 の各々を横断する、単一 R F 短絡 5 9 5 が、図示されるが、他の実施形態は、複数の連続伝導経路のそれぞれ間に周期的に交互された R F 短絡を有することができることに留意されたい。

【0089】

連続伝導経路 5 9 0 がそれぞれ、前述のように、R F デバイス（例えば、図 2 の空洞共振器 2 0 0）の所望の動作周波数において、表皮深度「 δ 」を上回らない伝導断面積を有する実施形態では、誘電体媒体 5 6 0 によって提供される周期的 R F 遮断は、R F 伝導媒体 5 0 5 が、R F 伝導のための増加した断面積を有することを可能にし、その成分要素（例えば、経路 5 9 0）は、表皮効果損失を被らない。

10

【0090】

本明細書に引用される全特許、公開出願、および参考文献の教示は、参照することによってその全体として組み込まれる。

【0091】

本開示は、特に、その例示的实施形態を参照して図示および説明されたが、添付の請求項によって包含される本開示の範囲から逸脱することなく、形態および詳細における種々の変更が行われてもよいことは、当業者によって理解されるであろう。

本願明細書は、例えば、以下の項目も提供する。

（項目 1）

20

無線周波数（R F）伝導媒体であって、前記媒体は、

横方向電磁軸に複数の連続伝導経路を形成する多様な伝導媒体と、

前記横方向電磁軸における前記複数の連続伝導経路の各々を周期的に包囲するサスペンション誘電体であって、前記サスペンション誘電体は、前記横方向電磁軸と垂直な軸において、前記複数の伝導経路の各々が R F エネルギーを伝搬することを周期的に遮断するように構成され、前記サスペンション誘電体は、前記複数の連続伝導経路の各々のために機械的支持を提供するようにさらに構成されている、サスペンション誘電体と

を備えている、媒体。

（項目 2）

誘電体表面上への前記 R F 伝導媒体の適用の間、前記 R F 伝導媒体を粘性状態に維持するように構成されている溶媒をさらに備え、前記溶媒は、熱源による刺激に応答して、蒸発するようにさらに構成されている、項目 1 に記載の R F 伝導媒体。

30

（項目 3）

前記多様な伝導媒体の各媒体は、銀、銅、アルミニウム、および金のうちの少なくとも 1 つである元素から成るナノ材料から作製される、項目 1 に記載の R F 伝導媒体。

（項目 4）

前記多様な伝導媒体の各媒体は、ワイヤ、リボン、チューブ、および薄片のうちの少なくとも 1 つである構造を有する、項目 1 に記載の R F 伝導媒体。

（項目 5）

前記複数の連続伝導経路の各々は、所望の動作周波数において、表皮深度を上回らない伝導断面積を有する、項目 1 に記載の R F 伝導媒体。

40

（項目 6）

表皮深度「 δ 」は、以下によって計算され、

【数 9】

$$\delta = \sqrt{\frac{2\rho}{(2\pi f)(\mu_0\mu_r)}} \approx 503 \sqrt{\frac{\rho}{\mu_r f}}$$

式中、 μ_0 は、真空の透磁率であり、 μ_r は、前記伝導媒体のナノ材料の比透磁率であり、 ρ は、前記伝導媒体のナノ材料の抵抗率であり、 f は、前記所望の動作周波数である

50

、項目 5 に記載の方法。

(項目 7)

前記所望の動作周波数は、空洞フィルタの所望の共振周波数、アンテナの所望の共振周波数、導波管のカットオフ周波数、同軸ケーブルの所望の動作周波数範囲、ならびに空洞フィルタおよびアンテナを含む統合された構造の組み合わせられた動作周波数範囲のうちの少なくとも 1 つに対応する、項目 5 に記載の R F 伝導媒体。

(項目 8)

前記複数の連続伝導経路の各々は、表皮深度 $50\text{ nm} - 4000\text{ nm}$ を有する均一伝導断面積を有する、項目 1 に記載の R F 伝導媒体。

(項目 9)

前記複数の連続伝導経路の各々は、表皮深度 $1000\text{ nm} - 3000\text{ nm}$ を有する均一伝導断面積を有する、項目 1 に記載の R F 伝導媒体。

(項目 10)

前記複数の連続伝導経路の各々は、表皮深度 $1500\text{ nm} - 2500\text{ nm}$ を有する均一伝導断面積を有する、項目 1 に記載の R F 伝導媒体。

(項目 11)

前記複数の連続伝導経路を被覆する保護層をさらに備え、前記保護層は、所望の動作周波数において、R F エネルギーに対して非伝導性かつ低吸収性である材料を含む、項目 1 に記載の R F 伝導媒体。

(項目 12)

前記材料は、ポリマーコーティングおよび繊維ガラスコーティングのうちの少なくとも 1 つである、項目 11 に記載の R F 伝導媒体。

(項目 13)

無線周波数 (R F) 伝導媒体であって、前記媒体は、

複数の連続伝導経路を形成する多様な伝導媒体であって、前記伝導媒体の各媒体は、横方向電磁軸において伝導性であり、前記横方向電磁軸と垂直な軸においてほとんど伝導しない材料である、伝導媒体と、

前記多様な伝導媒体を包囲する R F 不活性材料の層であって、前記 R F 不活性材料は、所望の動作周波数において、R F エネルギーに対して非伝導性かつ低吸収性であり、前記 R F 不活性材料の層は、前記多様な伝導媒体を誘電体表面上に固定するように構成されている、R F 不活性材料の層と

を備えている、媒体。

(項目 14)

前記 R F 伝導媒体を前記表面に結合するための結合剤をさらに備えている、項目 13 に記載の R F 伝導媒体。

(項目 15)

前記誘電体表面上への前記 R F 伝導媒体の適用の間、前記 R F 伝導媒体を粘性状態に維持するように構成されている溶媒をさらに備え、前記溶媒は、熱源による刺激に応答して蒸発するようにさらに構成されている、項目 13 に記載の R F 伝導媒体。

(項目 16)

前記多様な伝導媒体の各媒体は、炭素および黒鉛のうちの少なくとも 1 つであるナノ材料から作製される、項目 13 に記載の R F 伝導媒体。

(項目 17)

前記多様な伝導媒体内の各伝導媒体は、単層炭素ナノチューブ (SWCNT)、多層ナノチューブ (MWCNT)、および黒鉛のうちの少なくとも 1 つである、項目 13 に記載の R F 伝導媒体。

(項目 18)

前記複数の連続伝導経路の各々は、所望の動作周波数において、表皮深度を上回らない伝導断面積を有する、項目 13 に記載の R F 伝導媒体。

(項目 19)

10

20

30

40

50

表皮深度「 δ 」は、以下によって計算され、
【数 10】

$$\delta = \sqrt{\frac{2\rho}{(2\pi f)(\mu_0\mu_r)}} \approx 503 \sqrt{\frac{\rho}{\mu_r f}}$$

式中、 μ_0 は、真空の透磁率であり、 μ_r は、前記伝導媒体のナノ材料の比透磁率であり、 ρ は、前記伝導媒体のナノ材料の抵抗率であり、 f は、前記所望の動作周波数である、項目 18 に記載の方法。

(項目 20)

10

前記所望の動作周波数は、空洞フィルタの所望の共振周波数、アンテナの所望の共振周波数、導波管のカットオフ周波数、同軸ケーブルの所望の動作周波数範囲、ならびに空洞フィルタおよびアンテナを含む統合された構造の組み合わせられた動作周波数範囲のうちの少なくとも 1 つに対応する、項目 18 に記載の RF 伝導媒体。

(項目 21)

前記複数の連続伝導経路の各々は、表皮深度 50 nm - 4000 nm を有する均一伝導断面積を有する、項目 1 に記載の RF 伝導媒体。

(項目 22)

前記複数の連続伝導経路の各々は、表皮深度 1000 nm - 3000 nm を有する均一伝導断面積を有する、項目 1 に記載の RF 伝導媒体。

20

(項目 23)

前記複数の連続伝導経路の各々は、表皮深度 1500 nm - 2500 nm を有する均一伝導断面積を有する、項目 1 に記載の RF 伝導媒体。

(項目 24)

無線周波数 (RF) 伝導媒体であって、前記媒体は、
分離した電気伝導ナノ構造の束と、

前記分離した電気伝導ナノ構造の束が誘電体表面に適用されることを可能にする結合剤であって、前記分離した電気伝導ナノ構造の束は、熱源による焼結に応答して、均一格子構造および均一伝導断面積を有する連続伝導層を形成する、結合剤と

を備えている、媒体。

30

(項目 25)

前記ナノ構造は、炭素、銀、銅、アルミニウム、および金のうちの少なくとも 1 つである元素から成るナノ材料から作製される、項目 24 に記載の RF 伝導媒体。

(項目 26)

前記分離した電気伝導ナノ構造の束は、ワイヤ、リボン、チューブ、および薄片のうちの少なくとも 1 つである伝導構造を含む、項目 24 に記載の RF 伝導媒体。

(項目 27)

前記連続伝導層は、所望の動作周波数において、表皮深度を上回らない均一伝導断面積を有する、項目 24 に記載の RF 伝導媒体。

(項目 28)

40

前記表皮深度は、以下の式によって計算され、

【数 11】

$$\delta = \sqrt{\frac{2\rho}{(2\pi f)(\mu_0\mu_r)}} \approx 503 \sqrt{\frac{\rho}{\mu_r f}}$$

式中、 μ_0 は、真空の透磁率であり、 μ_r は、前記ナノ構造のナノ材料の比透磁率であり、 ρ は、前記ナノ構造のナノ材料の抵抗率であり、 f は、所望の動作周波数である、項目 27 に記載の RF 伝導媒体。

(項目 29)

50

前記所望の動作周波数は、空洞フィルタの所望の共振周波数、アンテナの所望の共振周波数、導波管のカットオフ周波数、同軸ケーブルの所望の動作周波数範囲、ならびに空洞フィルタおよびアンテナを含む統合された構造の組み合わせられた動作周波数範囲のうちの少なくとも1つに対応する、項目27に記載のRF伝導媒体。

(項目30)

前記連続伝導層は、表皮深度50nm-4000nmを有する均一伝導断面積を有する、項目27に記載のRF伝導媒体。

(項目31)

前記連続伝導層は、表皮深度1000nm-3000nmを有する均一伝導断面積を有する、項目24に記載のRF伝導媒体。

10

(項目32)

前記連続伝導層は、表皮深度1500nm-2500nmを有する均一伝導断面積を有する、項目24に記載のRF伝導媒体。

(項目33)

前記誘電体表面は、サイズにおいて表皮深度を上回る凸凹がない表面平滑度を有する、項目24に記載のRF伝導媒体。

(項目34)

前記誘電体表面は、以下の式に基づく深度を上回らない深度を有する凸凹を伴う表面平滑度を有し、

【数12】

20

$$\delta = \sqrt{\frac{2\rho}{(2\pi f)(\mu_0\mu_r)}} \approx 503 \sqrt{\frac{\rho}{\mu_r f}}$$

式中、 μ_0 は、真空の透磁率であり、 μ_r は、前記ナノ構造のナノ材料の比透磁率であり、 ρ は、前記ナノ構造のナノ材料の抵抗率であり、 f は、所望の動作周波数である、項目24に記載のRF伝導媒体。

(項目35)

前記熱源は、前記分離した伝導ナノ構造の束の各分離した伝導ナノ構造のナノ材料の原子構造および厚さに基づいて、熱の刺激を印加する、項目24に記載のRF伝導媒体。

30

(項目36)

前記連続伝導層を被覆する保護層をさらに備え、前記保護層は、所望の動作周波数において、RFエネルギーに対して非伝導性かつ低吸収性である材料を含む、項目24に記載のRF伝導媒体。

(項目37)

前記材料は、ポリマーコーティングおよび繊維ガラスコーティングのうちの少なくとも1つである、項目36に記載のRF伝導媒体。

(項目38)

前記誘電体表面は、前記空洞の所望の周波数応答特性に対応する内部幾何学形状を有する空洞の内側表面である、項目24に記載のRF伝導媒体。

40

(項目39)

前記分離したナノ構造の束は、第1の誘電体表面の外側表面および第2の誘電体表面の同心内側表面に適用され、前記第1の誘電体表面は、内側導体であり、前記第2の誘電体表面は、同軸ケーブルの外側導体である、項目24に記載のRF伝導媒体。

(項目40)

前記分離した電気伝導ナノ構造の束は、誘電体構造に適用され、前記誘電体構造の幾何学形状および前記分離した電気伝導ナノ構造の束の伝導特性は、アンテナの共振周波数応答および放射パターンを定義する、項目24に記載のRF伝導媒体。

【図 1】

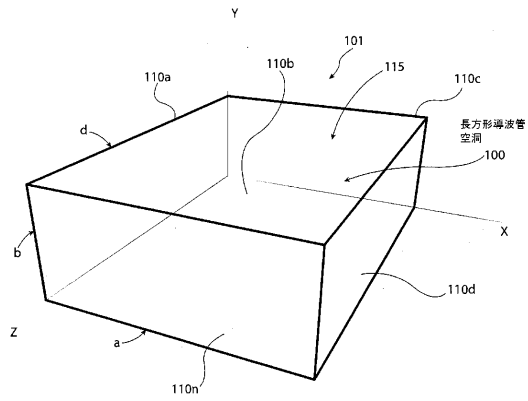


FIG. 1

【図 2】

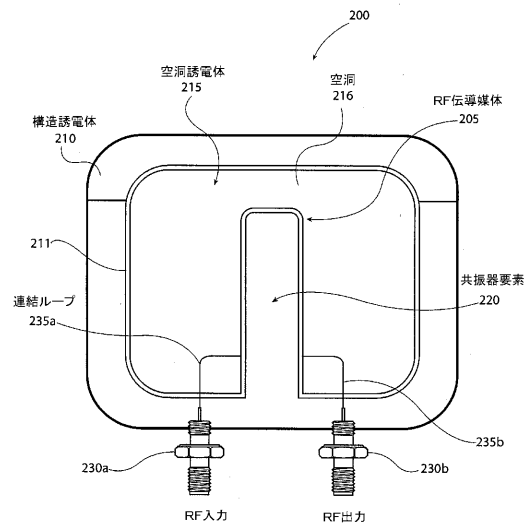


FIG. 2

【図 3】

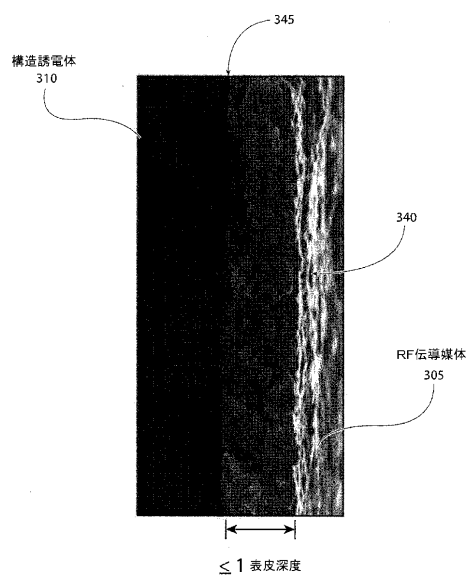


FIG. 3

【図 4 A】

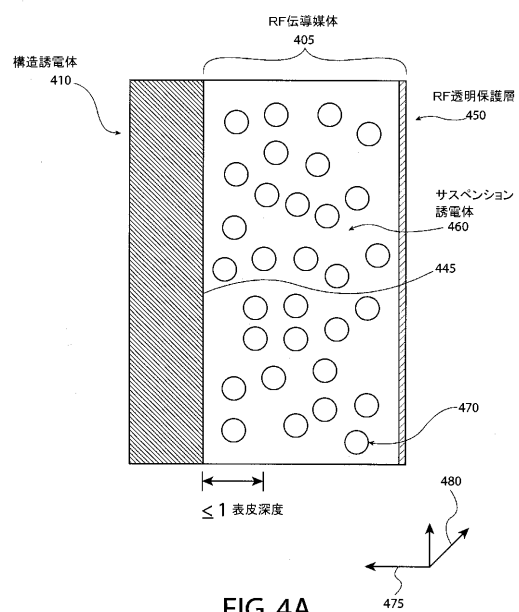
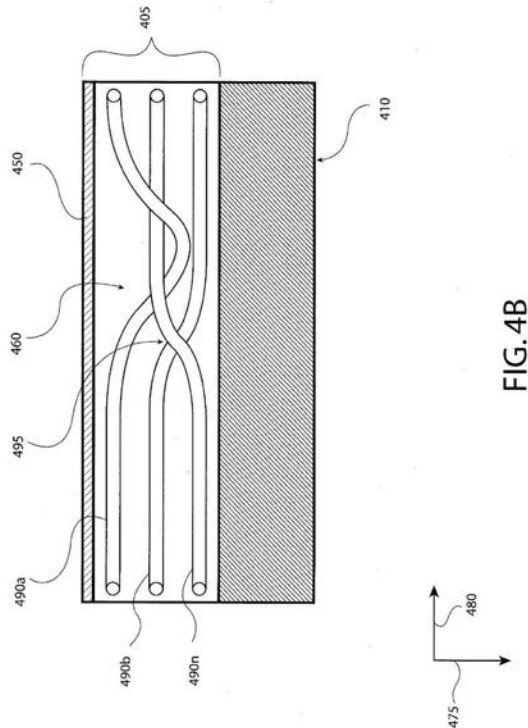
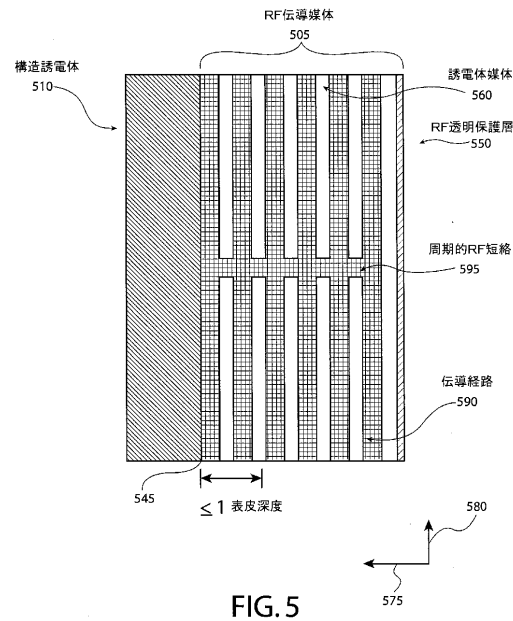


FIG. 4A

【図 4 B】



【図 5】



【手続補正書】

【提出日】平成29年9月25日(2017.9.25)

【手続補正 1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

無線周波数（R F）伝導媒体であって、前記媒体は、

分離した電気伝導ナノ構造の束と、

前記分離した伝導ナノ構造の束が誘電体表面に適用されることを可能にする結合剤であって、前記分離した伝導ナノ構造の束は、熱源によって焼結されることに応答して、連続伝導層を形成する、結合剤と

を備えている、R F 伝導媒体。

【請求項 2】

前記ナノ構造は、炭素、銀、銅、アルミニウム、金のうちの少なくとも 1 つである元素から成るナノ材料から作製されている、請求項 1 に記載の R F 伝導媒体。

【請求項 3】

前記分離した伝導ナノ構造の束は、ワイヤ、リボン、チューブ、薄片のうちの少なくとも 1 つである伝導構造を含む、請求項 1 に記載の R F 伝導媒体。

【請求項 4】

前記連続伝導層は、均一な伝導断面積と、所望の動作周波数における表皮深度とを有する、請求項 1 に記載の R F 伝導媒体。

【請求項 5】

前記表皮深度は、以下の式によって計算され、
【数 1 1】

$$\delta = \sqrt{\frac{2\rho}{(2\pi f)(\mu_0\mu_r)}} \approx 503 \sqrt{\frac{\rho}{\mu_r f}}$$

式中、 μ_0 は、真空の透磁率であり、 μ_r は、前記ナノ構造のナノ材料の比透磁率であり、 ρ は、前記ナノ構造のナノ材料の抵抗率であり、 f は、前記所望の動作周波数である、請求項 4 に記載の RF 伝導媒体。

【請求項 6】

前記所望の動作周波数は、空洞フィルタの所望の共振周波数、アンテナの所望の共振周波数、導波管のカットオフ周波数、同軸ケーブルの所望の動作周波数範囲、空洞フィルタおよびアンテナを含む統合された構造の組み合わせられた動作周波数範囲のうちの少なくとも 1 つに対応する、請求項 4 に記載の RF 伝導媒体。

【請求項 7】

前記連続伝導層は、50 nm ~ 4000 nm の表皮深度を有する、請求項 4 に記載の RF 伝導媒体。

【請求項 8】

前記連続伝導層は、1000 nm ~ 3000 nm の表皮深度を有する、請求項 1 に記載の RF 伝導媒体。

【請求項 9】

前記連続伝導層は、1500 nm ~ 2500 nm の表皮深度を有する、請求項 1 に記載の RF 伝導媒体。

【請求項 10】

前記誘電体表面は、サイズにおいて表皮深度を上回る凸凹がない表面平滑度を有する、請求項 1 に記載の RF 伝導媒体。

【請求項 11】

前記誘電体表面は、以下の式に基づく深度を上回らない深度を有する凸凹を伴う表面平滑度を有し、

【数 1 2】

$$\delta = \sqrt{\frac{2\rho}{(2\pi f)(\mu_0\mu_r)}} \approx 503 \sqrt{\frac{\rho}{\mu_r f}}$$

式中、 μ_0 は、真空の透磁率であり、 μ_r は、前記ナノ構造のナノ材料の比透磁率であり、 ρ は、前記ナノ構造のナノ材料の抵抗率であり、 f は、対象の周波数 (Hz) である、請求項 1 に記載の RF 伝導媒体。

【請求項 12】

前記熱源は、前記分離した伝導ナノ構造の束の各分離した伝導ナノ構造のナノ材料の原子構造および厚さに基づいて、熱の刺激を印加する、請求項 1 に記載の RF 伝導媒体。

【請求項 13】

前記連続伝導層を被覆する保護層をさらに備え、前記保護層は、所望の動作周波数において、RF エネルギーに対して非伝導性かつ低吸収性である材料を含む、請求項 1 に記載の RF 伝導媒体。

【請求項 14】

前記材料は、ポリマーコーティングおよび繊維ガラスコーティングのうちの少なくとも 1 つである、請求項 13 に記載の RF 伝導媒体。

【請求項 15】

前記誘電体表面は、内部幾何学形状を有する空洞の内側表面であり、前記内部幾何学形

状は、前記空洞の所望の周波数応答特性に対応する、請求項1に記載のRF伝導媒体。

【請求項16】

前記分離したナノ構造の束は、第1の誘電体表面の外側表面および第2の誘電体表面の同心内側表面に適用され、前記第1の誘電体表面は、内側導体であり、前記第2の誘電体表面は、同軸ケーブルの外側導体である、請求項1に記載のRF伝導媒体。

【請求項17】

前記分離した伝導ナノ構造の束は、誘電体構造に適用され、前記誘電体構造の幾何学形状および前記分離した伝導ナノ構造の束の伝導特性は、アンテナの共振周波数応答および放射パターンを定義する、請求項1に記載のRF伝導媒体。

【請求項18】

前記分離した伝導ナノ構造の束は、300℃よりも下の温度で、前記熱源によって焼結されることに応答して、前記連続伝導層を形成する、請求項1～17のいずれかに記載のRF伝導媒体。

【請求項19】

無線周波数(RF)伝導媒体を作製する方法であって、前記方法は、
分離した電気伝導ナノ構造の束を結合剤とともに誘電体表面に適用することであって、
前記誘電体表面は、所望の動作周波数における前記RF伝導媒体の表皮深度よりも小さい表面凹凸を有する、ことと、

約300℃までの温度で前記分離した電気伝導ナノ構造の束を焼結することにより、連続伝導層を形成することと

を含む、方法。

【請求項20】

前記電気伝導ナノ構造の束は、炭素、銀、銅、アルミニウム、金のうちの少なくとも1つを含む、請求項19に記載の方法。

【請求項21】

前記分離した電気伝導ナノ構造の束は、ナノワイヤ、ナノリボン、ナノチューブ、ナノ薄片のうちの少なくとも1つを含む、請求項19に記載の方法。

【請求項22】

前記分離した電気伝導ナノ構造の束は、伝導材料を含む、請求項19に記載の方法。

【請求項23】

前記分離した電気伝導ナノ構造の束は、銀ナノ粉末を含み、固体金属格子構造は、銀格子構造に実質的に類似している、請求項19に記載の方法。

【請求項24】

前記分離した電気伝導ナノ構造の束は、伝導材料を含み、前記連続伝導層は、所望の動作周波数における前記伝導材料の表皮深度よりも小さい厚さを有する、請求項19に記載の方法。

フロントページの続き

(72)発明者 ジョン アルドリッチ ドーリー

アメリカ合衆国 マサチューセッツ 02114, ボストン, ハンコック ストリート 22
 , ナンバー401

Fターム(参考) 5J006 HC01 HC03 JA01 LA02 NE02

【外国語明細書】
20172018400000001.pdf