

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6814580号  
(P6814580)

(45) 発行日 令和3年1月20日 (2021.1.20)

(24) 登録日 令和2年12月23日 (2020.12.23)

(51) Int. Cl.	F I
HO 1 Q 15/02 (2006.01)	HO 1 Q 15/02
GO 2 B 5/00 (2006.01)	GO 2 B 5/00 Z
HO 1 Q 15/14 (2006.01)	HO 1 Q 15/14 Z

請求項の数 11 外国語出願 (全 22 頁)

(21) 出願番号	特願2016-183643 (P2016-183643)	(73) 特許権者	500520743
(22) 出願日	平成28年9月21日 (2016.9.21)		ザ・ボーイング・カンパニー
(65) 公開番号	特開2017-108378 (P2017-108378A)		The Boeing Company
(43) 公開日	平成29年6月15日 (2017.6.15)		アメリカ合衆国、60606-2016
審査請求日	令和1年5月27日 (2019.5.27)		イリノイ州、シカゴ、ノース・リバーサイ
(31) 優先権主張番号	14/865,600		ド・プラザ、100
(32) 優先日	平成27年9月25日 (2015.9.25)	(74) 代理人	100086380
(33) 優先権主張国・地域又は機関	米国 (US)		弁理士 吉田 稔
		(74) 代理人	100103078
			弁理士 田中 達也
		(74) 代理人	100130650
			弁理士 鈴木 泰光
		(74) 代理人	100135389
			弁理士 臼井 尚

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 フェライト増強メタマテリアル

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

負の屈折率を有するメタマテリアルセルと、  
 前記メタマテリアルセルに関連付けられた可調整エレメントと、を含み、  
 前記可調整エレメントの一組の電磁特性をチューニングすることにより、前記メタマテリアルセルの共振特性が調節される、装置であって、  
 前記メタマテリアルセルは、磁気共振器と、前記磁気共振器に対して相対的に配置された導電性構造体と、を含み、  
 前記導電性構造体は、第 1 導電体と、第 2 導電体と、を含み、  
 前記可調整エレメントは、前記第 1 導電体と前記第 2 導電体との間の貯槽部に保持された複数の液晶を含む、装置。

【請求項 2】

前記磁気共振器は、二重スプリットリング共振器である、請求項 1 に記載の装置。

【請求項 3】

前記可調整エレメントは、  
 前記導電性構造体の少なくとも一方の面に関連づけられた強磁性材料を含む、請求項 1 に記載の装置。

【請求項 4】

前記メタマテリアルセルは、さらに、  
 前記メタマテリアルセルの固有周波数を有する電磁界に対する透過性を有するベースを

10

20

含み、前記磁気共振器は前記ベースに配置されている、請求項 1 に記載の装置。

【請求項 5】

前記可調整エレメントの一組の電磁特性をチューニングすることによって前記メタマテリアルセルの共振特性を調節するチューニング装置をさらに含み、

前記チューニング装置は、

前記メタマテリアルセルに磁界を外部から印加することによって前記可調整エレメントの透磁率をチューニングし、これにより、前記メタマテリアルセルの共振特性を調節する磁気デバイスと、

前記可調整エレメントに電界を印加することによって前記可調整エレメントの誘電率をチューニングし、これにより、前記メタマテリアルセルの共振特性を調節する可調整電源と、のうちの一方を含む、請求項 1 に記載の装置。

10

【請求項 6】

負の屈折率を有するメタマテリアルセルと、

前記メタマテリアルセルに関連付けられた可調整エレメントと、を含み、

前記可調整エレメントの一組の電磁特性をチューニングすることにより、前記メタマテリアルセルの共振特性が調節される、装置であって、

前記可調整エレメントは、

複数の液晶と複数の磁性ナノ粒子とを含む混合流体を含み、前記複数の液晶の誘電率と、前記複数の磁性ナノ粒子の透磁率と、のうちの少なくとも一方をチューニングすることにより、前記メタマテリアルセルの共振特性が調節される、装置。

20

【請求項 7】

前記可調整エレメントの一組の電磁特性を変化させることにより、前記メタマテリアルセルの共振特性が調節され、これにより、前記メタマテリアルセルが負の屈折率を示す周波数範囲が調節される、請求項 1 ~ 6 のいずれかに記載の装置。

【請求項 8】

前記メタマテリアルセル及び前記可調整エレメントは、メタユニットを構成し、当該メタユニットは、全体としてメタマテリアル構造体を構成する複数のメタユニットのうちの 1 つである、請求項 1 ~ 7 のいずれかに記載の装置。

【請求項 9】

メタマテリアルセルをチューニングするための方法であって、

前記メタマテリアルセルに関連づけられた可調整エレメントの一組の電磁特性をチューニングすることと、

前記一組の電磁特性のチューニングに応じて、前記メタマテリアルセルの共振特性を調節することと、

前記メタマテリアルセルの共振特性の変化に応じて、前記メタマテリアルセルが負の屈折率を示す周波数範囲を変化させることと、を含み、

前記一組の電磁特性をチューニングすることは、前記メタマテリアルセルに関連づけられた貯槽部に保持された複数の液晶の誘電率をチューニングすることによって前記メタマテリアルセルの共振特性を調節することを含む、方法。

30

【請求項 10】

メタマテリアルセルをチューニングするための方法であって、

前記メタマテリアルセルに関連づけられた可調整エレメントの一組の電磁特性をチューニングすることと、

前記一組の電磁特性のチューニングに応じて、前記メタマテリアルセルの共振特性を調節することと、

前記メタマテリアルセルの共振特性の変化に応じて、前記メタマテリアルセルが負の屈折率を示す周波数範囲を変化させることと、を含み、

前記一組の電磁特性をチューニングすることは、前記メタマテリアルセルに関連づけられた貯槽部に保持された複数の磁性ナノ粒子の透磁率をチューニングすることによって前記メタマテリアルセルの共振特性を調節することを含む方法。

40

50

## 【請求項 11】

前記メタマテリアルセルに磁界を外部から印加することによって前記メタマテリアルセルの共振特性を調節することをさらに含む、

請求項 9 又は 10 に記載の方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本開示は、概して、メタマテリアルに関する。より具体的には、本開示は、メタマテリアル構造体の共振特性を、メタマテリアル構造体に関連づけられた可調整エレメント (tunable element) を用いて調節する方法及び装置に関する。

10

## 【背景技術】

## 【0002】

メタマテリアルとは、現時点では自然界には存在しないとされる特性を持たせるように設計された人工の合成材料である。メタマテリアル構造体とは、従来の材料から成る個々のメタマテリアルセルを多数配列した集合体である。従来の材料の非限定的な例には、金属、金属合金、プラスチック材料、その他の種類の材料がある。

## 【0003】

メタマテリアルセルの屈折率は、そのメタマテリアルセルの誘電率及び透磁率により決まる。屈折率により、メタマテリアルセル内を伝播する電磁波の曲がり方、つまり屈折の仕方が決まる。負の屈折率を有するメタマテリアル (NIM: negative index material) は、特定の周波数範囲に対して負の屈折率を示し、この周波数範囲は、通常、メタマテリアルの共振特性により決まる。この周波数範囲は、一般に、そのメタマテリアルの共振周波数あるいはその近傍を中心とする周波数帯である。メタマテリアル構造体が負の屈折率を示す周波数範囲は、メタマテリアル構造体を構成するメタマテリアルセルの配向、大きさ、形状、配置パターンなどの様々な要因に依存する。

20

## 【0004】

メタマテリアル構造体は、自己共振型のメタマテリアルセルの二次元あるいは三次元の繰り返し構造の形態であってもよく、通常、各メタマテリアルセルは、同一の周波数範囲で自己共振する。この周波数範囲は、限定された狭い範囲である場合がある。この種のメタマテリアル構造体の合算的な作用を利用すると、光学レンズが行うように、電磁エネルギーを集束させることができる。

30

## 【0005】

メタマテリアル構造体の負の屈折作用は、電磁エネルギーを誘導する有用な手段となる。ただし、これらメタマテリアルが動作可能な周波数範囲は限られている。特定のメタマテリアル構造体が負の屈折率を示す周波数範囲を拡大することは、ある種の用途では有用である。したがって、上述の課題の少なくともいくつかと、その他の潜在的な課題に考慮した方法及び装置が望まれている。

## 【発明の概要】

## 【0006】

例示的な一実施形態では、装置は、メタマテリアルセル及び前記メタマテリアルセルに関連付けられた可調整エレメントを有する。前記メタマテリアルセルは、負の屈折率を有する。前記可調整エレメントの一組の電磁特性をチューニングすることにより、前記メタマテリアルセルの共振特性が調節される。

40

## 【0007】

別の例示的な一実施形態では、メタマテリアル構造体は、複数のメタユニットを有する。前記複数のメタユニットのうちの1つのメタユニットは、メタマテリアルセルと、前記メタマテリアルセルに関連付けられた可調整エレメントと、を含む。前記可調整エレメントの誘電率と透磁率とのうちの少なくとも一方をチューニングすることにより、前記メタマテリアルセルの共振特性が調節される。さらに、前記複数のメタユニットのうちの少なくとも一部の共振特性を調節することにより、前記メタマテリアル構造体が電磁エネルギー

50

ーを集束させるべく負の屈折率を示す周波数範囲が調節される。

【0008】

さらに別の例示的な実施形態では、メタマテリアルセルをチューニングするための方法が提供される。前記メタマテリアルセルに関連づけられた可調整エレメントの一組の電磁特性がチューニングされる。前記一組の電磁特性のチューニングに応じて、前記メタマテリアルセルの共振特性が調節される。前記メタマテリアルセルの共振特性の変化に応じて、前記メタマテリアルセルが負の屈折率を示す周波数範囲が変更される。

【0009】

これら特徴及び機能は、本開示の様々な実施形態において個別に達成することができ、あるいは、さらに別の実施形態と組み合わせてもよく、さらなる詳細は、以下の記載及び図面を参照することによって、明らかになるであろう。

【図面の簡単な説明】

【0010】

例示的な実施形態に特有のものと考えられる新規の特徴は、添付の特許請求の範囲に記載されている。ただし、例示的な実施形態、並びに、好ましい使用の形態、さらなる目的及び利点は、以下に記載する本開示の例示的な実施形態の詳細な説明を、添付図面と共に参照することによって、最もよく理解されるであろう。

【0011】

【図1】例示的な実施形態によるエネルギー誘導システムを示す斜視図である。

【図2】例示的な実施形態によるメタユニットを示す上面側斜視図である。

【図3】例示的な実施形態によるメタユニットを示す下面側斜視図である。

【図4】例示的な実施形態によるメタユニット及びチューニング装置を示す側面図である。

【図5】例示的な実施形態によるメタユニットの別の構成を示す底面図である。

【図6】例示的な実施形態によるメタユニットを示す上面側斜視図である。

【図7】例示的な実施形態によるメタユニットを示す上面側斜視図である。

【図8】例示的な実施形態によるメタユニットの別の構成を示す上面側斜視図である。

【図9】例示的な実施形態による、メタマテリアルセルのチューニング処理を示すフローチャートである。

【図10】例示的な実施形態による、メタマテリアルセルに関連づけられた可調整エレメントの一組の電磁特性をチューニングする処理を示すフローチャートである。

【図11】例示的な実施形態による、メタマテリアルセルに関連づけられた可調整エレメントの一組の電磁特性をチューニングする処理を示すフローチャートである。

【図12】例示的な実施形態による、メタマテリアルセルに関連づけられた可調整エレメントの一組の電磁特性をチューニングする処理を示すフローチャートである。

【図13】例示的な実施形態による、電磁エネルギーの集束処理を示すフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0012】

例示的な実施形態においては、1つ又は複数の事項が認識及び考慮されている。例えば、例示的な実施形態では、メタマテリアルセルが負の屈折率を示す周波数範囲を変化させることを目的として、メタマテリアルセルの共振特性を適応チューニングできることが望ましく、これにより、電磁エネルギーを所望の方向に誘導可能になることが認識及び考慮されている。

【0013】

例示的な実施形態では、メタマテリアルセルの共振特性をチューニングし、これにより、メタマテリアルセルが負の屈折率を示す周波数範囲を調節することが望ましいことが認識及び考慮されている。特に、メタマテリアルセルの物理的構造や幾何学配置を変更することなく、このチューニングを行える方法及び装置が望ましいことが認識及び考慮されている。

10

20

30

40

50

## 【0014】

よって、例示的な実施形態では、メタマテリアルセルを制御するための方法及び装置が提供される。一実施例では、可調整エレメントは、負の屈折率を有するメタマテリアルセルに関連づけられている。可調整エレメントの一組の電磁特性をチューニングすることにより、メタマテリアルセルの共振特性を調節することができる。メタマテリアルセルを通過する電磁エネルギーが集束する方向は、可調整エレメントの一組の電磁特性のチューニングに基づいて制御される。可調整エレメントの一組の電磁特性には、例えば、誘電率、透磁率、あるいは、その両方が含まれる。

## 【0015】

メタマテリアル構造体を構成する複数のメタマテリアルセルを上述したようにチューニングして、合算的な負の屈折作用を示すようにすると、電磁エネルギーを所望の方向に集束させることが可能になる。電磁エネルギーが集束する方向は、複数のメタマテリアルセルのうちの1つ又は複数のメタマテリアルセルの共振特性を調節することにより、容易に変更することが可能である。

## 【0016】

異なる実施例において、「調節 (adjust)」、「変化 (change)」、及び「チューニング (tune)」なる用語、並びに、それら用語の派生形は、区別なく使用されている場合がある。換言すると、共振特性をチューニングすることは、共振特性を調節すること、あるいは、共振特性を変化させることと同じ意味である。同様に、電磁特性をチューニングすることは、電磁特性を変化させる、あるいは、調節することと同じ意味である。

## 【0017】

以下の説明では、図面を参照し、具体的には図1を参照する。同図には、例示的な実施形態によるエネルギー誘導システムの斜視図が示されている。この実施例では、エネルギー誘導システム100を用いて、電磁エネルギーを誘導し、また、集束させることができる。

## 【0018】

図示の通り、エネルギー誘導システム100は、メタマテリアル構造体102を含む。メタマテリアル構造体102は、複数のメタユニット104からなる。この実施例では、複数のメタユニット104は、グリッド状に配置されている。非限定的な例では、複数のメタユニット104のうちの第1の組は、第1の軸106に対して実質的に平行に配置されて、この軸106に対して実質的に平行に伝播する電磁エネルギーを入射させるように構成されている。複数のメタユニット104のうちの第2の組は、第2の軸108に実質的に平行に配置されて、この軸108に実質的に平行に伝播する電磁エネルギーを入射させるように構成されている。この実施例では、第2の軸108と第1の軸106とは、互いに直交する。

## 【0019】

メタマテリアル構造体102を用いることにより、電磁エネルギー110を誘導し、集束させることが可能である。具体的には、メタマテリアル構造体102を用いることにより、メタマテリアル構造体102を通過する電磁エネルギー110の伝播経路112を制御することが可能である。例えば、メタマテリアル構造体102を用いることにより、電磁エネルギー110を所望の方向に集束させることが可能である。換言すれば、メタマテリアル構造体102を用いることにより、空中の特定の点116に向かって集束する電磁エネルギー114を得ることができる。

## 【0020】

エネルギー誘導システム100は、反射モード、透過モード、あるいは、その両方で動作可能である。透過モードでは、電磁エネルギー110はメタマテリアル構造体102を透過し、メタマテリアル構造体102によって特定の点116に向けて集束される。これは、透過レンズの作用と同様である。メタマテリアル構造体102は、電磁エネルギー110がメタマテリアル構造体102を透過でき、この際の損失がより少なくなるように構成されている。

10

20

30

40

50

## 【0021】

反射モードでは、メタマテリアル構造体102により、電磁エネルギー110を特定の方向に反射させることができ、電磁エネルギー110のビームを空中の特定の点に向けて集束させることができる。これは、反射レンズの作用と同様である。メタマテリアル構造体102は、電磁エネルギー110がメタマテリアル構造体102を透過できないように構成されている。

## 【0022】

一実施例では、メタマテリアル構造体102は、複数のメタユニット104を含む。メタユニット118は、複数のメタユニット104の一例である。本実施例では、メタユニット118と同様の態様で、複数のメタユニット104における他の各メタユニットも実

10

## 【0023】

現される。ただし、別の実施例では、複数のメタユニット104における他のメタユニットの1つ又は複数を、メタユニット118とは異なる態様で実現してもよい。

各メタユニット104は、メタマテリアルセル及び可調整エレメントを含む。具体的には、メタマテリアルセルは、特定の周波数範囲内の電磁エネルギー110に対して負の屈折率を示す。電磁エネルギー110が特定の周波数範囲から外れている場合は、メタマテリアル構造体102は、電磁エネルギー110を散乱させる。この種の散乱作用を利用すると、メタマテリアル構造体102を通して伝播する電磁エネルギー110から、不要な周波数成分を除去することができる。

## 【0024】

20

複数のメタユニット104における各メタユニットが示す負の屈折率は、合算的に作用しうる。この合算的な作用を、合算的な負の屈折作用 (aggregate negative refractive index effect) と称する場合がある。複数のメタユニット104における各メタユニットが示す負の屈折率の合算的な作用により、電磁エネルギー110がメタマテリアル構造体102を通して伝播する波形を制御して、電磁エネルギー110を空中の点116に向けて集束させることが可能である。

## 【0025】

複数のメタユニット104における各メタユニットをチューニングすることにより、そのメタユニットのメタマテリアルセルが示す負の屈折率応答を調節したり、変化させたりできる。複数のメタユニット104における個々のメタユニット、あるいは、メタユニットの組をチューニングすることによって適切な合算的作用を得て、電磁エネルギー110を所望の方向に集束させることが可能である。

30

## 【0026】

一実施例では、メタユニット118などのメタユニットをチューニングすることは、メタユニット118に含まれる可調整エレメントの一組の電磁特性をチューニングすることを含む。一組の電磁特性には、1つ又は複数の電磁特性が含まれる。一実施例では、一組の電磁特性には、誘電率、透磁率、あるいは、その両方が含まれる。

## 【0027】

メタユニット118の可調整エレメントの誘電率、透磁率、あるいは、その両方をチューニングすると、メタユニット118のメタマテリアルセルの共振特性が調節される。メタマテリアルセルの共振特性を変化させると、メタユニット118が負の屈折率を示す周波数範囲が変化する。

40

## 【0028】

次に、図2を参照する。同図には、例示的な実施形態によるメタユニットの上面側斜視図が示されている。この実施例では、メタユニット200は、図1に示した複数のメタユニット104のうちのいずれか1つの例である。一実施例では、メタユニット200は、図1のメタユニット118の一例である。

## 【0029】

図示の通り、メタユニット200は、メタマテリアルセル201及び可調整エレメント202を含む。メタマテリアルセル201は、ベース203、磁気共振器204、及び、

50

導電性構造体 206 を含む。

【0030】

ベース 203 は、メタマテリアルセル 201 の固有周波数の電磁界に対する透過性を有する任意の材料、又は、そのような材料の組み合わせから構成することができる。一実施例では、ベース 203 は、誘電体基板の形態であってもよい。

【0031】

図示の通り、磁気共振器 204 及び導電性構造体 206 は、ベース 203 の面 210 及び面 212 にそれぞれ配置されている。磁気共振器 204 は、様々な方法で実装可能である。一実施例では、磁気共振器 204 は、二重スプリットリング共振器 (dual split ring resonator) 214 であってもよい。別の実施例では、磁気共振器 204 は、特定の周波数範囲の電磁エネルギーに対して負の屈折率を示すものであれば、別の種類のデバイスであってもよい。非限定的な例では、磁気共振器 204 は、単一のスプリットリング共振器、スイスロール型コンデンサ (Swiss roll capacitor)、金属の筒状体のアレイ、筒状体に巻回したシートの容量アレイ (capacitive array of sheets wound on cylinders)、これらの組み合わせ、あるいは、その他の種類のデバイスであってもよい。

【0032】

図示の通り、磁気共振器 204 が二重スプリットリング共振器 214 である場合、磁気共振器 204 は、外側スプリットリング 216 及び内側スプリットリング 218 を同心のスプリットリングとして含む。換言すると、二重スプリットリング共振器 214 は、複数の切れ目 (split) 220 を有する。外側スプリットリング 216 及び内側スプリットリング 218 は、ベース 203 の面 210 に、エッチングあるいは成形により形成することができる。外側スプリットリング 216 及び内側スプリットリング 218 は、メタユニット 200 を伝播する電磁エネルギーに影響を与え、制御する。

【0033】

導電性構造体 206 は、磁気共振器 204 に対して相対的に配置される。導電性構造体 206 は、導電性を有する。この実施例では、導電性構造体 206 は、導電性を有する柱状体あるいはロッドの形態であってもよい。具体的には、導電性構造体 206 は、金属の柱状体であってもよい。ただし、別の実施例では、導電性構造体 206 は、導電性のワイヤ、導電性の板、あるいはその他の導電性の部材を用いて実現してもよい。

【0034】

可調整エレメント 202 は、メタマテリアルセル 201 に関連づけられている。可調整エレメント 202 は、様々な方法で実現可能である。よって、可調整エレメント 202 は、様々な方法でメタマテリアルセル 201 に関連づけることが可能である。この実施例では、可調整エレメント 202 は、導電性構造体 206 に関連づけられている。

【0035】

本明細書において、あるコンポーネントが別のコンポーネントに「関連付けられている」という場合、これら 2 つのコンポーネントは、互いに物理的に関連づけられている。例えば、第 1 のコンポーネントとしての可調整エレメント 202 が、第 2 のコンポーネントとしての導電性構造体 206 に関連付けられているとは、第 1 のコンポーネントが第 2 のコンポーネントに固定されている、第 2 のコンポーネントに接合されている、第 2 のコンポーネントに搭載されている、第 2 のコンポーネントに溶接されている、第 2 のコンポーネントに締結されている、第 2 のコンポーネントに配置されている、第 2 のコンポーネントに被着されている、あるいは、他の何らかの適切な方法で第 2 のコンポーネントに接続されていることの少なくともいずれかを意味する場合がある。また、第 1 のコンポーネントは、第 3 のコンポーネントを介して第 2 のコンポーネントに関連づけられていてもよい。さらに、第 1 のコンポーネントが第 2 のコンポーネントに関連づけられているとは、第 1 のコンポーネントが第 2 のコンポーネントの一部として、第 2 のコンポーネントの延長部分として、あるいは、その両方として構成されていることを意味する場合がある。

【0036】

本明細書において、「少なくとも 1 つの」なる語句がアイテムの列挙と共に用いられる

時は、列挙されたアイテムのうちの1つ又は複数のアイテムの様々な組み合わせを使用し、  
うことを意味し、列挙されたアイテムの1つだけを用いる場合もありうる。アイテムは、  
ある特定の対象、物、ステップ、動作、処理、又はカテゴリであってもよい。換言す  
れば、「少なくとも1つの」は、列挙されたアイテムのうち任意の組み合わせ又は数のア  
イテムを使用してもよいが、列挙されたアイテムの必ずしもすべてが必須ではないことを  
意味する。

【0037】

非限定的な例をあげると、「アイテムA、アイテムB、又はアイテムCのうちの少なく  
とも1つ」あるいは「アイテムA、アイテムB、及びアイテムCのうちの少なくとも1つ」  
は、アイテムAを意味する場合、アイテムA及びアイテムBを意味する場合、アイテム  
Bを意味する場合、アイテムA、アイテムB、及びアイテムCを意味する場合、あるいは  
、アイテムB及びアイテムCを意味する場合がある。場合によっては、「アイテムA、ア  
イテムB、又はアイテムCのうちの少なくとも1つ」あるいは「アイテムA、アイテムB、  
及びアイテムCのうちの少なくとも1つ」は、例えば、限定するものではないが、2つのア  
イテムA、1つのアイテムB、及び10のアイテムCを意味する場合、4つのアイテムB  
及び7つのアイテムCを意味する場合、あるいは、他の適当な組み合わせを意味する場合  
がある。

10

【0038】

一実施例では、可調整エレメント202は、導電性構造体206の一部分に配置された  
強磁性材料であってもよい。非限定的な例を挙げると、強磁性材料は、導電性構造体20  
6の少なくとも一方の面に配置されていてもよい。

20

【0039】

一実施例では、強磁性材料は、導電性構造体206のうちの、ベース203と反対側の  
面において、導電性構造体206に埋設されていてもよい。別の実施例では、強磁性材料  
を導電性構造体206に付加製造法により被着させ、これにより可調整エレメント202  
を形成してもよい。可調整エレメント202は、導電性構造体206のうちの、ベース2  
03と反対側の面に、強磁性材料を1層又は複数層塗布することにより形成してよい。

【0040】

可調整エレメント202の透磁率をチューニングすることにより、メタマテリアルセル  
201の共振特性を調節することが可能である。例えば、チューニング装置(tuning dev  
ice)222を用いて、可調整エレメント202の透磁率を変化させることが可能である  
。

30

【0041】

この実施例では、チューニング装置222は、第1端226及び第2端228を有する  
磁気デバイス224を含む。別の実施例では、チューニング装置222は、2つ以上の磁  
気デバイスを用いて実現してもよい。

【0042】

磁気デバイス224は、メタユニット200の外部デバイスであってもよく、これを用  
いて可調整エレメント202に磁界を印加することができる。可調整エレメント202に  
磁界を印加すると、可調整エレメント202の透磁率に影響し、これにより、メタマテリ  
アルセル201の共振特性に影響することになる。

40

【0043】

非限定的な例では、可調整エレメント202に印加される磁界の大きさやレベルを調節  
することにより、可調整エレメント202の透磁率を変化させることができる。可調整エ  
レメント202の透磁率を変化させると、メタマテリアルセル201の共振特性が変化し  
、よって、メタマテリアルセル201が負の屈折率を示す周波数範囲が変化する。

【0044】

次に、図3を参照する。同図には、例示的な実施形態による図2のメタユニット200  
の底面側斜視図が示されている。この実施例では、ベース203の面212が、より明瞭  
に示されている。

50



## 【 0 0 4 5 】

次に、図 4 を参照する。同図には、例示的な実施形態による図 2 ~ 図 3 に示したメタユニット 2 0 0 及びチューニング装置 2 2 2 の側面図が示されている。この実施例では、チューニング装置 2 2 2 を用いて、可調整エレメント 2 0 2 に磁界 4 0 0 を印加する。チューニング装置 2 2 2 により磁界 4 0 0 を制御して可調整エレメント 2 0 2 の透磁率を変化させることが可能であり、これによりメタユニット 2 0 0 のメタマテリアルセル 2 0 1 の共振特性を変化させる。

## 【 0 0 4 6 】

一実施例では、磁界 4 0 0 が大きくなるにつれて、可調整エレメント 2 0 2 の磁気双極子の整列が進む。この整列により、磁気共振器 2 0 4 を通過する有効磁束が増加し、また、メタマテリアルセル 2 0 1 の共振特性がシフトする。この結果、負の屈折率が得られる電磁エネルギーの周波数が低くなる。

10

## 【 0 0 4 7 】

次に、図 5 を参照する。同図には、例示的な実施形態によるメタユニットの別の構成の底面図が示されている。この実施例では、メタユニット 5 0 0 は、図 1 に示した複数のメタユニット 1 0 4 のうちの少なくとも 1 つのメタユニットの別の例である。具体的には、メタユニット 5 0 0 は、図 1 に示したメタユニット 1 1 8 の別の例である。

## 【 0 0 4 8 】

図示の通り、メタユニット 5 0 0 は、メタマテリアルセル 5 0 1 及び可調整エレメント 5 0 2 を含む。メタマテリアルセル 5 0 1 は、図 2 ~ 図 4 のメタマテリアルセル 2 0 1 と同様の態様で実現可能である。

20

## 【 0 0 4 9 】

図示の通り、メタマテリアルセル 5 0 1 は、第 1 の面 5 0 5 及び第 2 の面 5 0 4 を有するベース 5 0 3 を含む。この実施例では、第 1 の面 5 0 5 は仮想線で示されている。

## 【 0 0 5 0 】

メタマテリアルセル 5 0 1 は、さらに磁気共振器 5 0 6 を含み、これは、第 1 の面 5 0 5 に配置されており、仮想線で示されている。メタマテリアルセル 5 0 1 は、さらに導電性構造体 5 0 8 を含む。導電性構造体 5 0 8 は、ベース 5 0 3 の第 2 の面 5 0 4 に関連づけられている。この実施例では、導電性構造体 5 0 8 は、図 2 ~ 図 4 の導電性構造体 2 0 6 とは異なる態様で実現されている。

30

## 【 0 0 5 1 】

この実施例では、導電性構造体 5 0 8 は、第 1 導電体 5 1 0 及び第 2 導電体 5 1 2 を含み、いずれの導電体も、導電性を有する。第 1 導電体 5 1 0 及び第 2 導電体 5 1 2 は、第 1 電極及び第 2 電極の形態であり、それぞれベース 5 0 3 の第 2 の面 5 0 4 に配置されている。一実施例では、第 1 導電体 5 1 0 及び第 2 導電体 5 1 2 は、ベース 5 0 3 に 3 D 印刷により形成することができる。

## 【 0 0 5 2 】

メタユニット 5 0 0 の可調整エレメント 5 0 2 は、図 2 ~ 図 4 に示したメタユニット 2 0 0 の可調整エレメント 2 0 2 とは異なる態様で実現してもよい。この実施例では、可調整エレメント 5 0 2 は、第 1 導電体 5 1 0 と第 2 導電体 5 1 2 の間に配置された混合流体である。この実施例では、混合流体は、ベース 5 0 3 、第 1 導電体 5 1 0 、第 2 導電体 5 1 2 、及びカバー 5 1 5 の間に形成された貯槽部 5 1 4 に保持されている。この実施例では、カバー 5 1 5 は、透明のプラスチックシートの形態であってもよい。

40

## 【 0 0 5 3 】

いくつかの実施例では、貯槽部 5 1 4 は、ベース 5 0 3 に形成された溝や空洞であって、これにより、可調整エレメント 5 0 2 を構成する混合流体を保持する形態であってもよい。場合によっては、混合流体は、第 1 導電体 5 1 0 と第 2 導電体 5 1 2 との間に配置されたプラスチックの箱、誘電材料で構成された箱、あるいは、その他の構造体に保持されるようにしてもよい。

## 【 0 0 5 4 】

50

この実施例では、可調整エレメント 502 を構成する混合流体は、複数の液晶 516 を含む。この場合、貯槽部 514 には、複数の液晶 516 が充填されている。複数の液晶 516 は、本質的に異方性を有する。換言すると、複数の液晶 516 の各液晶分子は、方向に依存性を有する。非限定的な例を挙げると、複数の液晶 516 の各液晶は、ロッド形状、葉巻形状、扁球形状、あるいは、その他の細長形状を有している。

#### 【0055】

複数の液晶 516 の誘電率をチューニングすることにより、メタマテリアルセル 501 の共振特性が変化する。液晶 516 の誘電率を変化させるには、チューニング装置（図示せず）を用いて複数の液晶 516 に電界を印加すればよい。複数の液晶 516 に電界を印加すると、複数の液晶 516 の誘電率が変化し、これによりメタマテリアルセル 501 の共振特性が変化する。

10

#### 【0056】

次に、図 6 を参照する。同図には、例示的な実施形態による図 5 に示したメタユニット 500 の上面側斜視図が示されている。この実施例では、第 1 の面 505 がより明瞭に示されている。図示の通り、磁気共振器 506 は、ベース 503 の第 1 の面 505 に配置されている。

#### 【0057】

磁気共振器 506 は、同心の外側スプリットリング 600 及び内側スプリットリング 602 を有している。このように、磁気共振器 506 は、二重スプリットリング共振器 604 の形態であってもよい。

20

#### 【0058】

この実施例では、可調整エレメント 502 を構成する複数の液晶 516 は、ベース 503、第 1 導電体 510、第 2 導電体 512、及びカバー 515 の間に形成された貯槽部 514 に保持されている。第 1 導電体 510、第 2 導電体 512、及び、カバー 515 は、ベース 503 の第 2 の面 504 とほぼ面一にして、第 1 導電体 510、第 2 導電体 512、及び、カバー 515 が、第 2 の面 504 から突出や延出していない構成としてもよい。場合によっては、貯槽部 514 は、ベース 503 に形成された溝であってもよい。

#### 【0059】

チューニング装置 606 を用いて、可調整エレメント 502 に電界を印加することが可能である。この実施例では、チューニング装置 606 は、交流バイアス電源（alternating current bias voltage source）の形態であってもよく、この電源を制御することにより、可変の電圧を生成可能である。別の実施例では、チューニング装置 606 は、別の種類の可調整電源（controllable voltage source）の形態であってもよい。

30

#### 【0060】

この実施例では、チューニング装置 606 は、第 1 導電体 510 にライン 608 を介して接続されており、また、第 2 導電体 512 にライン 610 を介して接続されている。チューニング装置 606 を用いて、第 1 導電体 510 及び第 2 導電体 512 に電圧を印加することができ、これにより、第 1 導電体 510 と第 2 導電体 512 との間に電位差を発生させることができる。この電位差により、可調整エレメント 502 を構成する複数の液晶 516 に電界が印加される。第 1 導電体 510 及び第 2 導電体 512 に印加する電圧を変化させることにより、複数の液晶 516 に印加される電界の大きさあるいはレベルが変化する。

40

#### 【0061】

複数の液晶 516 に電界を印加すると、複数の液晶 516 の誘電率に影響が生じる。よって、第 1 導電体 510 及び第 2 導電体 512 に印加する電圧を変化させることにより、複数の液晶 516 の誘電率が変化し、これにより、メタマテリアルセル 501 の共振特性が変化する。

#### 【0062】

次に、図 7 を参照する。同図には、例示的な実施形態による図 5 ~ 図 6 に示したメタユニット 500 の上面側斜視図が示されている。このメタユニットは、ベース 503 の外側

50

に配置された貯槽部 5 1 4 を有する。この実施形態では、貯槽部 5 1 4 は、ベース 5 0 3 の第 2 の面 5 0 4 に配置され、取付けられている。第 1 導電体 5 1 0 及び第 2 導電体 5 1 2 は、ベース 5 0 3 の第 2 の面 5 0 4 から延出している。

【 0 0 6 3 】

次に、図 8 を参照する。同図には、例示的な実施形態によるメタユニットの別の構成の上面側斜視図が示されている。この実施例では、メタユニット 8 0 0 は、図 1 に示した複数のメタユニット 1 0 4 のうちの少なくとも 1 つの別の例であり、よって、限定はされないが、図 1 に示したメタユニット 1 1 8 の例でもありうる。

【 0 0 6 4 】

図示の通り、メタユニット 8 0 0 は、メタマテリアルセル 8 0 1 及び可調整エレメント 8 0 2 を含む。メタマテリアルセル 8 0 1 は、図 2 ~ 図 4 に示したメタマテリアルセル 2 0 1、及び、図 5 ~ 図 7 に示したメタマテリアルセル 5 0 1 と同様の態様で実現可能である。

【 0 0 6 5 】

メタマテリアルセル 8 0 1 は、第 1 の面 8 0 4 及び第 2 の面 8 0 6 を有するベース 8 0 3 を含む。メタマテリアルセル 8 0 1 は、さらに磁気共振器 8 0 8 を含む。非限定的な例では、磁気共振器 8 0 8 は、二重スプリットリング共振器であってもよい。加えて、メタマテリアルセル 8 0 1 は、導電性構造体 8 1 0 を含む。導電性構造体 8 1 0 は、導電性の柱状体 8 1 1、第 1 電極 8 1 2、及び第 2 電極 8 1 4 を含む。

【 0 0 6 6 】

この実施例では、可調整エレメント 8 0 2 は、混合流体 8 1 5 の形態であってもよい。混合流体 8 1 5 は、第 1 電極 8 1 2 及び第 2 電極 8 1 4 の間に配置される。混合流体 8 1 5 は、第 1 電極 8 1 2 及び第 2 電極 8 1 4 の間に形成された貯槽部 8 1 6 に保持される。

【 0 0 6 7 】

混合流体 8 1 5 は、複数の液晶 8 1 8 及び複数の磁性ナノ粒子 8 2 0 を含む。複数の磁性ナノ粒子 8 2 0 は、複数の液晶 8 1 8 に分散されていてもよい。

【 0 0 6 8 】

複数の磁性ナノ粒子 8 2 0 は、磁場勾配を利用することにより制御可能なナノ粒子の分類に属する。複数の磁性ナノ粒子 8 2 0 における 1 つの磁性ナノ粒子は、鉄、ニッケル、コバルト、若しくは他の種類の磁性元素のうちの少なくとも 1 つ、又は、鉄、ニッケル、コバルト、強磁性材料、若しくは他の種類の磁性元素を含む化合物のうちの少なくとも 1 つを含みうる。いくつかの実施例では、ナノ粒子は、化学的又は電気化学的な腐食を防ぐために、シリカ又はポリマー保護被膜を含んでもよい。

【 0 0 6 9 】

一実施例では、複数の磁性ナノ粒子 8 2 0 は、複数の強磁性ナノ粒子の形態をとる。これらの強磁性ナノ粒子は、複数のナノフェライト粒子であってもよい。加えて、このようなナノ粒子は、ナノフェライト粒子、バリウムフェライト粒子、又は他の適切なフェライト材料を含んでもよい。

【 0 0 7 0 】

複数の液晶 8 1 8 に電界を印加すると、複数の液晶 8 1 8 の誘電率が変化する。非限定的な例では、図 6 のチューニング装置 6 0 6 を用いて、ライン 6 0 8 を介して第 1 電極 8 1 2 に電圧を印加し、また、ライン 6 1 0 を介して第 2 電極 8 1 4 に電圧を印加することができる。第 1 電極 8 1 2 と第 2 電極 8 1 4 に電圧を印加すると、両電極間に電位差が生じ、これにより混合流体 8 1 5 を通る電界が形成される。電圧は、チューニング装置 6 0 6 により制御し、変化させることができる。第 1 電極 8 1 2 と第 2 電極 8 1 4 に印加する電圧を変化させると、両電極間の電位差が変化し、これにより、混合流体 8 1 5 に印加される電界の大きさが変化し、その結果、複数の液晶 8 1 8 の誘電率が変化する。

【 0 0 7 1 】

加えて、複数の液晶 8 1 8 に電界を印加すると、複数の液晶 8 1 8 の配向である第 1 配向に変化が生じる。複数の液晶 8 1 8 の第 1 配向の変化は、これに対応して、複数の磁性

10

20

30

40

50

ナノ粒子 820 の配向である第 2 配向を変化させる。複数の磁性ナノ粒子 820 の第 2 配向の変化は、これに対応して、複数の磁性ナノ粒子 820 の透磁率を変化させる。

【0072】

複数の液晶 818 における誘電率の変化と複数の磁性ナノ粒子 820 における透磁率の変化は共に作用して、メタマテリアルセル 801 の共振特性を変化させる。このように、メタマテリアルセル 801 の共振特性を用途に合わせてチューニングする (custom-tuned) ことができる。

【0073】

場合によっては、強磁性材料 (図示せず) を導電性の柱状体 811 に被着させてもよい。図 2 に示した磁気デバイス 224 のような外部磁気デバイスを用いて、強磁性材料に磁界を印加して、強磁性材料の透磁率を変化させ、これにより、メタマテリアルセル 801 の共振特性を変化させてもよい。場合によっては、磁界は、複数の磁性ナノ粒子 820 の透磁率にも影響を及ぼす。

【0074】

混合流体 815 に含まれる複数の磁性ナノ粒子 820 と複数の液晶 818 との比率は、調整可能である。例えば、複数の磁性ナノ粒子 820 の複数の液晶 818 に対する比率は、混合流体 815 が液体としての粘度を維持して、所望の流動性を有するように選択される。一実施例では、混合流体 815 における複数の磁性ナノ粒子 820 と複数の液晶 818 との比率は、重量比で 1 : 1 であってもよい。別の実施例では、混合流体 815 における複数の磁性ナノ粒子 820 と複数の液晶 818 の比率は、1 : 1 から 10 : 1 の間の比率であってもよい。

【0075】

図 1 ~ 図 8 において説明したように、メタマテリアルセルに関連づけられた可調整エレメントの誘電率、透磁率、あるいはその両方をチューニングすることにより、そのメタマテリアルセルの共振特性を各種の方法で変化させることが可能である。可調整エレメントを用いてメタマテリアルセルの共振特性を適応チューニングする処理は、図 1 に示した複数のメタユニット 104 を例とする複数のメタユニットの 1 つ又は複数について繰り返して行ってもよい。このようにして、メタマテリアル構造体 102 に含まれる複数のメタユニット 104 の合算的な作用を、用途に合わせた電磁エネルギー 110 の周波数範囲に合わせて調節することが可能である。

【0076】

図 1 のエネルギー誘導システム 100、図 2 ~ 図 4 のメタユニット 200、図 5 ~ 図 7 のメタユニット 500、及び、図 8 のメタユニット 800 は、例示的な実施形態を実現する態様に物理的あるいは構造的な限定を加えることを意図するものではない。図に示したコンポーネントに加えて、あるいは、これに代えて、他のコンポーネントを用いてもよい。いくつかのコンポーネントは、任意であってもよい。

【0077】

いくつかの実施例では、図 8 の導電性構造体 810 は、第 1 電極 812 及び第 2 電極 814 に代えて、導電性の柱状体 811 及び一対の導電性プレートを含んでもよい。場合によっては、メタユニット 800 は、二重スプリットリング共振器以外の種類の磁気共振器 808 を用いて実現してもよい。いくつかの実施例では、チューニング装置は、磁気デバイスと可調整電源の両方を含んでもよい。

【0078】

次に、図 9 を参照する。同図には、例示的な実施形態による、メタマテリアルセルのチューニング処理がフローチャートで示されている。図 9 に示した処理を実行することにより、図 1 の複数のメタユニット 104 のうちの 1 つを例とするメタユニットに含まれるメタマテリアルセルの共振特性をチューニングすることができる。

【0079】

この処理では、まず、メタマテリアルセルに関連づけられた可調整エレメントの一組の電磁特性をチューニングする (工程 900)。一組の電磁特性の調節に応じて、メタマテ

10

20

30

40

50

リアルセルの共振特性を調節する（工程 9 0 2 ）。

【 0 0 8 0 】

メタマテリアルセルの共振特性の変化に応じて、メタマテリアルセルが負の屈折率を示す周波数の範囲を変化させる（工程 9 0 4 ）。次に、本処理を終了する。換言すると、図 9 に示した処理によれば、メタマテリアルセルに関連づけられた可調整エレメントの一組の電磁特性を変化させることによってメタマテリアルセルの共振特性を調節し、これにより、メタマテリアルセルが負の屈折率を示す周波数範囲を調節することができる。

【 0 0 8 1 】

次に、図 1 0 を参照する。同図には、例示的な実施形態による、メタマテリアルセルに関連づけられた可調整エレメントの一組の電磁特性をチューニングする処理がフローチャートで示されている。図 1 0 に示した処理により、図 9 の工程 9 0 0 を実行することができる。

10

【 0 0 8 2 】

本処理では、まず、メタマテリアルセルに関連づけられた第 1 導電体と第 2 導電体との間に配置された、複数の液晶を含む混合流体に電界を印加する（工程 1 0 0 0 ）。工程 1 0 0 0 は、例えば、第 1 導電体と第 2 導電体に電圧を印加して、第 1 導電体と第 2 導電体との間に電位差を生じさせることにより実行できる。印加電圧を変化させると、電位差が変化し、よって電界にも変化が生じる。

【 0 0 8 3 】

混合流体への電界の印加に応じて、複数の液晶の誘電率を変化させる（工程 1 0 0 2 ）。次に、本処理を終了する。複数の液晶の誘電率の変化の程度は、第 1 導電体と第 2 導電体に印加される電圧のレベルによって決まる。したがって、第 1 導電体と第 2 導電体に印加する電圧を制御することにより、複数の液晶の誘電率を精密にチューニングすることが可能である。

20

【 0 0 8 4 】

次に、図 1 1 を参照する。同図には、例示的な実施形態による、メタマテリアルセルに関連づけられた可調整エレメントの一組の電磁特性をチューニングする処理がフローチャートで示されている。図 1 1 に示した処理により、図 9 の工程 9 0 0 を実行することができる。

【 0 0 8 5 】

本処理では、まず、メタマテリアルセルに関連づけられた第 1 導電体と第 2 導電体との間に配置された、複数の液晶及び複数の磁性ナノ粒子を含む混合流体に電界を印加する（工程 1 1 0 0 ）。工程 1 1 0 0 は、例えば、第 1 導電体と第 2 導電体に電圧を印加して、第 1 導電体と第 2 導電体の間に電位差を生じさせることにより実行できる。印加電圧を変化させると、電位差が変化し、よって電界にも変化が生じる。

30

【 0 0 8 6 】

混合流体への電界の印加に応じて、複数の液晶の配向を変化させる（工程 1 1 0 2 ）。複数の液晶の配向の変化に応じて、複数の磁性ナノ粒子の配向を変化させる（工程 1 1 0 4 ）。複数の磁性ナノ粒子の配向の変化に応じて、複数の磁性ナノ粒子の透磁率を変化させる（工程 1 1 0 6 ）。次に、本処理を終了する。

40

【 0 0 8 7 】

次に、図 1 2 を参照する。同図には、例示的な実施形態による、メタマテリアルセルに関連づけられた可調整エレメントの一組の電磁特性をチューニングする処理がフローチャートで示されている。図 1 2 に示した処理により、図 9 の工程 9 0 0 を実行することができる。

【 0 0 8 8 】

本処理では、まず、メタマテリアルセルの一部である導電性構造体に関連づけられた強磁性材料に磁界を印加する（工程 1 2 0 0 ）。工程 1 2 0 0 は、例えば、外部磁気デバイスを用いて磁界を印加することにより実行できる。強磁性材料への磁界の印加に応じて、強磁性材料の透磁率を変化させる（工程 1 2 0 2 ）。次に、本処理を終了する。

50

## 【 0 0 8 9 】

次に、図 1 3 を参照する。同図には、例示的な実施形態による、電磁エネルギーの集束処理がフローチャートで示されている。図 1 3 に示した処理を図 1 に示したメタマテリアル構造体 1 0 2 を用いて実行することにより、電磁エネルギー 1 1 0 を集束させることができる。

## 【 0 0 9 0 】

本処理では、まず、メタマテリアル構造体を構成する複数のメタユニットのうちの少なくとも 1 つのメタユニットについて、メタマテリアルセルに関連づけられた可調整エレメントの一組の電磁特性をチューニングする（工程 1 3 0 0）。このチューニングに応じて、当該少なくとも 1 つのメタユニットについて、メタマテリアルセルの共振特性を調節する（工程 1 3 0 2）。

10

## 【 0 0 9 1 】

メタマテリアル構造体を形成する複数のメタユニットの各メタユニットが示す負の屈折率の合算的な作用により、メタマテリアル構造体を通過する電磁エネルギーが集束する方向を制御する（工程 1 3 0 4）。次に、本処理を終了する。具体的には、複数のメタユニットを用いることにより、特定の周波数範囲内の電磁エネルギーを所望の方向に集束させつつ、特定の周波数範囲外の電磁エネルギーについては散乱させることができる。

## 【 0 0 9 2 】

異なる実施形態を示すフローチャート及びブロック図は、例示的な実施形態の装置及び方法について可能ないくつかの態様における構成、機能、処理を示すものである。この点に関し、フローチャート又はブロック図における各ブロックは、モジュール、セグメント、機能、及び/又は操作やステップの一部を表す場合もある。

20

## 【 0 0 9 3 】

例示的な一実施形態のいくつかの代替の態様においては、ブロックに示した 1 つ又は複数の機能が、図に示した順序とは異なる順序で実行されてもよい。例えば、連続するものとして示されている 2 つのブロックは、実質的に同時に実行される場合もあるし、機能によっては、これらのブロックが逆の順序で実行される場合もある。また、フローチャート又はブロック図に示されたブロックに加えて、他のブロックが追加される場合もある。

## 【 0 0 9 4 】

よって、例示的な実施形態は、メタマテリアルセルの共振特性をチューニングするための方法及び装置を提供する。具体的には、メタマテリアルセルの周波数応答は、メタマテリアルセルに関連づけられた可調整エレメントに、磁界、電界、あるいはその両方を外部から印加することによりチューニング可能である。

30

## 【 0 0 9 5 】

一実施例では、メタマテリアルセルは、導電性の柱状体に特有の態様で被着させた強磁性材料、又は、混合流体に混合した強磁性材料を用いてチューニング可能であり、これにより、メタマテリアルセル全体の磁束を制御することができる。場合によっては、強磁性材料は、複数の磁性ナノ粒子を複数の液晶と混合した混合流体の形態とすることが可能である。別の実施例では、メタマテリアルセルは、複数の液晶を用いてチューニング可能であり、このチューニングは、複数の液晶に印加される電界を、場合によっては、メタマテリアルセルに関連づけられた導電性の柱状体の周辺に印加される電界と合せて、全体として制御することにより行える。

40

## 【 0 0 9 6 】

メタマテリアルセルの容量とインダクタンスとのうちの少なくとも一方を増加させることは、メタマテリアルセルの共振周波数を変化させる仕組みとして機能する。容量とインダクタンスのうちの少なくとも一方を増加させると、メタマテリアルセルの共振周波数は低くなる。容量及びインダクタンスを変更可能な度合は、メタマテリアルセルの大きさ及び物性により限定される。

## 【 0 0 9 7 】

記載した例示的な実施形態を用いれば、フェライト増強メタマテリアルを費用効率よく

50

作製することや、高利得のメタマテリアルアンテナ (metamaterial-based antenna) を作製することが可能になり、さらに、負の屈折率を有するメタマテリアルアンテナの帯域幅全体を拡張することが可能になる。例示的な実施形態によれば、負の屈折率を有するメタマテリアルアンテナをチューニングするための方法が提供され、この方法により、負の屈折率を有するメタマテリアルアンテナで、電磁信号を集束させると共に、電磁信号のうち不要な成分を除去することが可能になる。

【0098】

例示的な実施形態によれば、適応型のインピーダンス整合及び濾波を行える帯域幅の広いネットワークを費用効率よく作製することを可能にする方法及び装置が提供される。さらに、例示的な実施形態に記載した種類の可変インダクタにより、無線周波数 (RF) システムの全体性能を改善し、現在入手可能なインダクタよりも消費電力を低減することが可能である。

10

【0099】

例示的な実施形態に記載した可変インダクタは、インピーダンス整合及び濾波を行うネットワークの小型化及び軽量化を実現できる。さらに、この可変インダクタによれば、インピーダンス整合及び濾波を行うネットワークに必要な回路素子の数を減らすことができ、これにより機械的な構造や組立工程を簡易化できる。

【0100】

例示的な実施形態に記載した可変インダクタ及び可変コンデンサは、無線周波数で動作する各種のシステムにおいて回路ネットワークを形成するのに特に有用である。ここでいうシステムの非限定的な例には、携帯電話、衛星通信システム、テレビ、レーダ画像システム、及び、無線で動作するその他の種類のシステムがある。

20

【0101】

一実施例では、フェライト増強された負屈折率メタマテリアル (FENIM: ferrite-enhanced negative index metamaterial) の構造体を用いれば、光学レンズが光を集束させるのと同様の仕組みで高周波エネルギーを誘導する、高利得で軽量のレンズアンテナを構築することができる。フェライト増強された負屈折率メタマテリアルをチューニングして、より広い周波数幅で所望の負屈折率の作用を発現させるようにできる。

【0102】

加えて、本開示は、下記の付記による実施形態も包含する。

30

【0103】

付記 1

負の屈折率を有するメタマテリアルセルと、

前記メタマテリアルセルに関連付けられた可調整エレメントと、を含み、前記可調整エレメントの一組の電磁特性をチューニングすることにより、前記メタマテリアルセルの共振特性が調節される、装置。

【0104】

付記 2

前記メタマテリアルセルは、

磁気共振器と、

40

前記磁気共振器に対して相対的に配置された導電性構造体と、を含む、付記 1 に記載の装置。

【0105】

付記 3

前記磁気共振器は、二重スプリットリング共振器である、付記 2 に記載の装置。

【0106】

付記 4

前記可調整エレメントは、

前記導電性構造体の少なくとも一方の面に関連づけられた強磁性材料を含む、付記 2 に記載の装置。

50

## 【 0 1 0 7 】

## 付記 5

前記メタマテリアルセルは、さらに、

前記メタマテリアルセルの固有周波数を有する電磁界に対する透過性を有するベースを含み、前記磁気共振器は前記ベースに配置されている、付記 2 に記載の装置。

## 【 0 1 0 8 】

## 付記 6

前記導電性構造体は、

第 1 導電体と、

第 2 導電体と、を含む、付記 2 に記載の装置。

10

## 【 0 1 0 9 】

## 付記 7

前記可調整エレメントは、

前記第 1 導電体と前記第 2 導電体との間の貯槽部に保持された複数の液晶を含む、

付記 6 に記載の装置。

## 【 0 1 1 0 】

## 付記 8

前記可調整エレメントの一組の電磁特性をチューニングすることによって前記メタマテリアルセルの共振特性を調節するチューニング装置をさらに含む、付記 1 に記載の装置。

## 【 0 1 1 1 】

20

## 付記 9

前記チューニング装置は、

前記メタマテリアルセルに磁界を外部から印加することによって前記可調整エレメントの透磁率をチューニングし、これにより、前記メタマテリアルセルの共振特性を調節する磁気デバイスを含む、付記 8 に記載の装置。

## 【 0 1 1 2 】

## 付記 10

前記チューニング装置は、

前記可調整エレメントに電界を印加することによって前記可調整エレメントの誘電率をチューニングし、これにより、前記メタマテリアルセルの共振特性を調節する可調整電源を含む、付記 8 に記載の装置。

30

## 【 0 1 1 3 】

## 付記 11

前記一組の電磁特性は、誘電率と透磁率とのうちの少なくとも一方を含む、付記 1 に記載の装置。

## 【 0 1 1 4 】

## 付記 12

前記可調整エレメントは、

複数の液晶と複数の磁性ナノ粒子とを含む混合流体を含み、前記複数の液晶の誘電率と、前記複数の磁性ナノ粒子の透磁率と、のうちの少なくとも一方をすることにより、前記メタマテリアルセルの共振特性が調節される、付記 1 に記載の装置。

40

## 【 0 1 1 5 】

## 付記 13

前記可調整エレメントの一組の電磁特性を変化させることにより、前記メタマテリアルセルの共振特性が調節され、これにより、前記メタマテリアルセルが負の屈折率を示す周波数範囲が調節される、付記 1 に記載の装置

## 【 0 1 1 6 】

## 付記 14

前記メタマテリアルセル及び前記可調整エレメントは、メタユニットを構成し、当該メタユニットは、全体としてメタマテリアル構造体を構成する複数のメタユニットのうちの

50



1 つである、付記 1 に記載の装置。

【0117】

付記 15

複数のメタユニットを含み、当該複数のメタユニットのうちの 1 つのメタユニットは、  
メタマテリアルセルと、

前記メタマテリアルセルに関連づけられた可調整エレメントと、を含み、

前記可調整エレメントの誘電率と透磁率とのうちの少なくとも一方をチューニングすることにより、前記メタマテリアルセルの共振特性が調節され、

前記複数のメタユニットのうちの少なくとも一部の共振特性を調節することにより、当該メタマテリアル構造体が電磁エネルギーを集束させるべく負の屈折率を示す周波数範囲が調節される、メタマテリアル構造体。

10

【0118】

付記 16

メタマテリアルセルをチューニングするための方法であって、

前記メタマテリアルセルに関連づけられた可調整エレメントの一組の電磁特性をチューニングすることと、

前記一組の電磁特性のチューニングに応じて、前記メタマテリアルセルの共振特性を調節することと、

前記メタマテリアルセルの共振特性の変化に応じて、前記メタマテリアルセルが負の屈折率を示す周波数範囲を変化させることと、を含む方法。

20

【0119】

付記 17

前記一組の電磁特性をチューニングすることは、

前記メタマテリアルセルに関連づけられた貯槽部に保持された複数の液晶の誘電率をチューニングすることによって前記メタマテリアルセルの共振特性を調節することを含む、付記 16 に記載の方法。

【0120】

付記 18

前記一組の電磁特性をチューニングすることは、

前記メタマテリアルセルに関連づけられた貯槽部に保持された複数の磁性ナノ粒子の透磁率をチューニングすることによって前記メタマテリアルセルの共振特性を調節することを含む、付記 16 に記載の方法。

30

【0121】

付記 19

前記メタマテリアルセルに磁界を外部から印加することによって前記メタマテリアルセルの共振特性を調節することをさらに含む、

付記 16 に記載の方法。

【0122】

付記 20

前記一組の電磁特性をチューニングすることは、

前記メタマテリアルセルに関連づけられた貯槽部に保持された混合流体に電界を印加し、この際に、前記混合流体として、複数の液晶及び複数の磁性ナノ粒子を含むものを用いることと、

40

前記混合流体に印加する電界に応じて、前記複数の液晶の配向を変化させることと、

前記複数の液晶の配向の変化に応じて、前記複数の磁性ナノ粒子の配向を変化させることと、

前記複数の磁性ナノ粒子の変化に応じて、前記複数の磁性ナノ粒子の透磁率を変化させることと、を含む、付記 16 に記載の方法。

【0123】

様々な例示的な実施形態の説明は、例示及び説明のために提示したものであり、すべて

50

を網羅することや、開示した形態での実施に限定することを意図するものではない。多くの変更又は変形が当業者には明らかであろう。また、様々な例示的な実施形態は、他の例示的な実施形態とは異なる特徴をもたらしうる。選択した実施形態は、実施形態の原理及び実際の用途を最も的確に説明するために、且つ、当業者が、想定した特定の用途に適した種々の改変を加えた様々な実施形態のための開示を理解できるようにするために、選択且つ記載したものである。

【図 1】

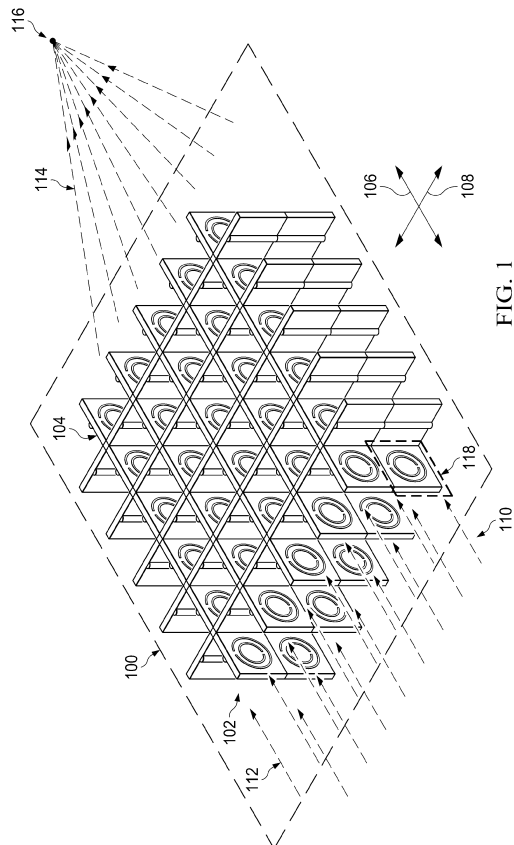


FIG. 1

【図 2】

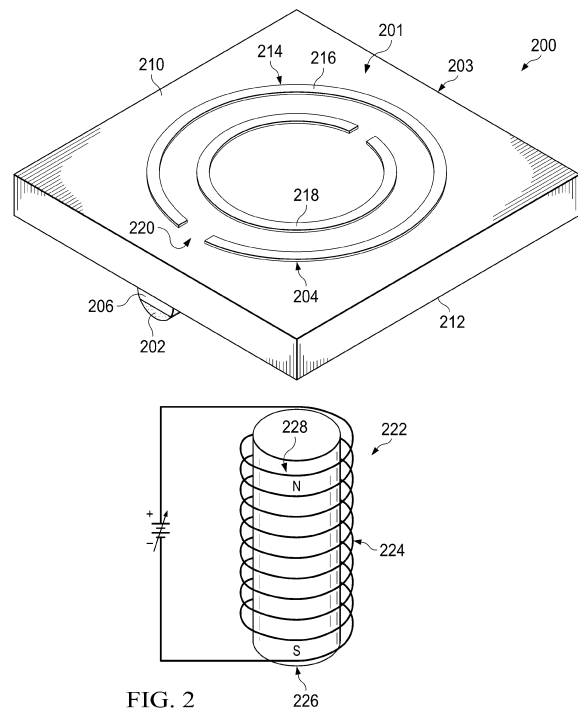


FIG. 2

【図 3】

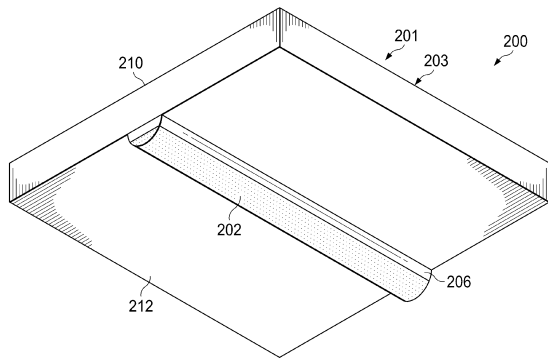


FIG. 3

【図 4】

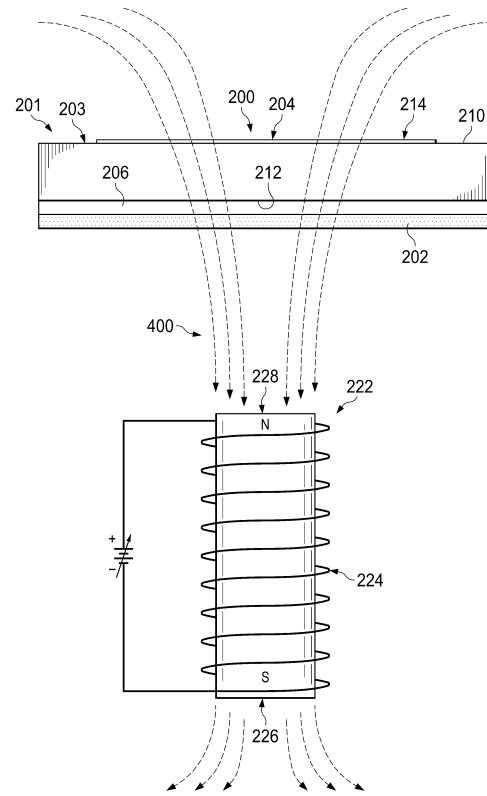


FIG. 4

【図 5】

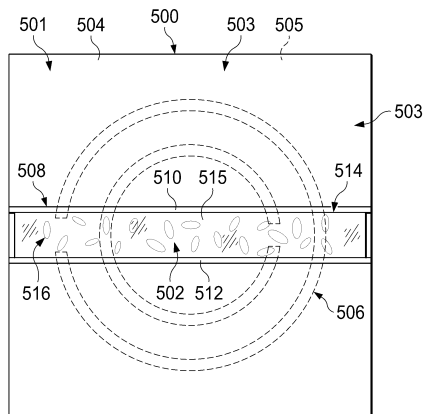


FIG. 5

【図 6】

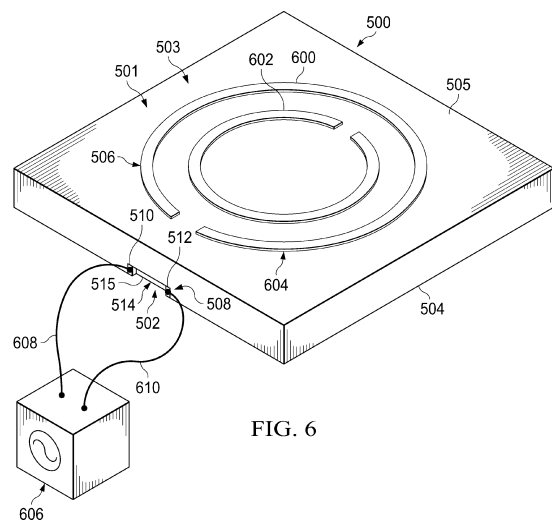


FIG. 6

【図 7】

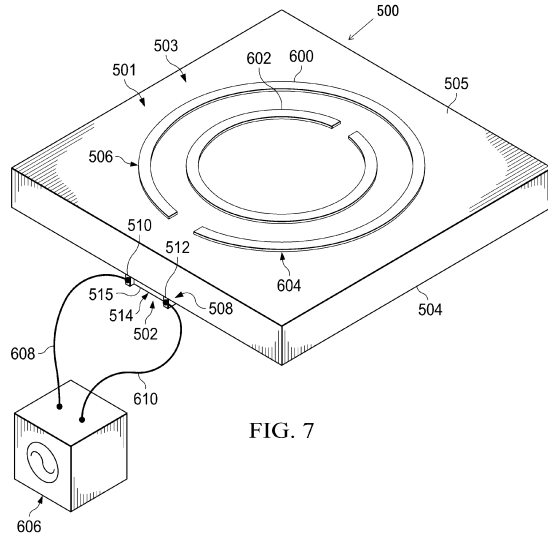


FIG. 7

【図 8】

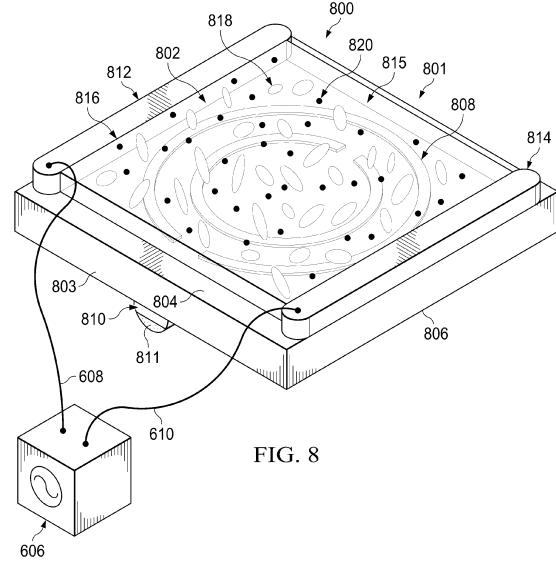


FIG. 8

【図 9】

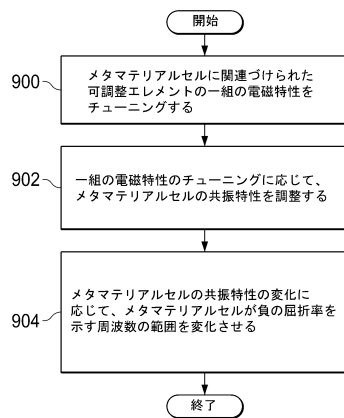


FIG. 9

【図 10】

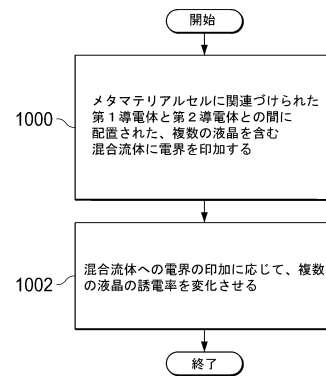


FIG. 10

【図 1 1】

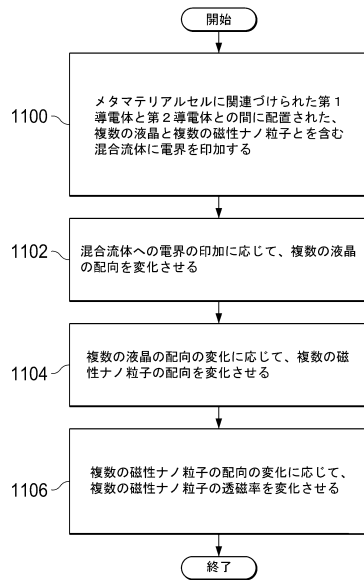


FIG. 11

【図 1 2】

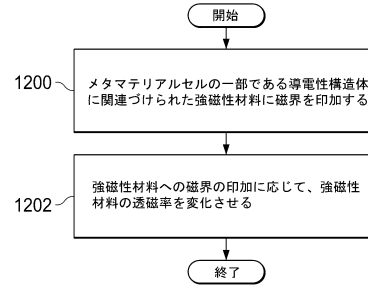


FIG. 12

【図 1 3】

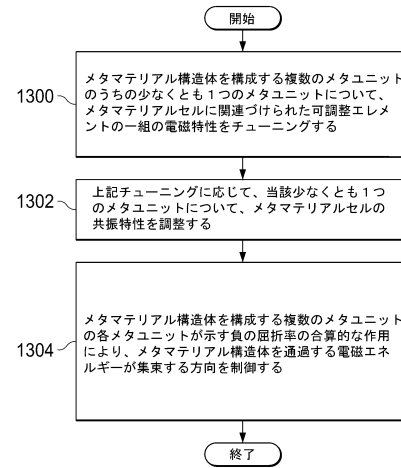


FIG. 13

## フロントページの続き

- (74)代理人 100161274  
弁理士 土居 史明
- (74)代理人 100168044  
弁理士 小淵 景太
- (74)代理人 100168099  
弁理士 鈴木 伸太郎
- (72)発明者 ラリー レオン サヴェージ  
アメリカ合衆国、イリノイ州 60606-2016、シカゴ、ノース リバーサイド プラザ  
100、ザ・ボーイング・カンパニー内
- (72)発明者 ジョン ダルトン ウィリアムズ  
アメリカ合衆国、イリノイ州 60606-2016、シカゴ、ノース リバーサイド プラザ  
100、ザ・ボーイング・カンパニー内
- (72)発明者 コーリー マッキニー サッカー  
アメリカ合衆国、イリノイ州 60606-2016、シカゴ、ノース リバーサイド プラザ  
100、ザ・ボーイング・カンパニー内
- (72)発明者 ジャロッド ダグラス フォーティンベリー  
アメリカ合衆国、イリノイ州 60606-2016、シカゴ、ノース リバーサイド プラザ  
100、ザ・ボーイング・カンパニー内
- (72)発明者 プレストン タイラー ブシェイ  
アメリカ合衆国、イリノイ州 60606-2016、シカゴ、ノース リバーサイド プラザ  
100、ザ・ボーイング・カンパニー内

審査官 赤穂 美香

- (56)参考文献 特表2013-509097(JP,A)  
米国特許出願公開第2014/0354479(US,A1)  
韓国公開特許第10-2012-0087951(KR,A)  
特表2008-521060(JP,A)  
米国特許出願公開第2006/0109540(US,A1)  
中国特許出願公開第101103489(CN,A)  
韓国公開特許第10-2007-0086427(KR,A)  
特開2013-005044(JP,A)  
特表2010-526318(JP,A)  
米国特許出願公開第2008/0272955(US,A1)  
中国特許出願公開第102790283(CN,A)  
Y. J. Huang et al., Tunable dual-band ferrite-based metamaterials with dual negative r  
efractions, Applied Physics A, 2011年11月 3日, vol.106, no.1, 79-86

## (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01Q 15/00  
G02B 5/00