

(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2021-72534
(P2021-72534A)

(43) 公開日 令和3年5月6日(2021.5.6)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO 1 P 1/00 (2006.01)	HO 1 P 1/00 Z	5 J 0 1 1
HO 1 P 3/16 (2006.01)	HO 1 P 3/16	5 J 0 1 4

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2019-197954 (P2019-197954)	(71) 出願人	304021417 国立大学法人東京工業大学 東京都目黒区大岡山2丁目12番1号
(22) 出願日	令和1年10月30日 (2019.10.30)	(71) 出願人	000003207 トヨタ自動車株式会社 愛知県豊田市トヨタ町1番地
		(74) 代理人	110001807 特許業務法人磯野国際特許商標事務所
		(72) 発明者	雨宮 智宏 東京都目黒区大岡山2丁目12番1号 国立大学法人東京工業大学内
		(72) 発明者	高木 茉佑 愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内
		Fターム(参考)	5J011 CA14 5J014 HA02

(54) 【発明の名称】 光学迷彩装置

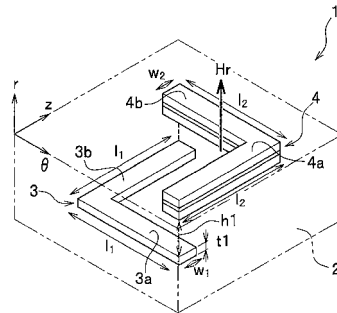
(57) 【要約】

【課題】 同じ周波数のあらゆる方向の偏光に対して光学迷彩が可能な光学迷彩装置を提供する。

【解決手段】 本発明の光学迷彩装置10は、光を透過するベース体2と、ベース体2に設置される第1メタマテリアル3と、ベース体2に第1メタマテリアル3に重なる位置に間をおいて設置される第2メタマテリアル4とを備え、第1メタマテリアル3および第2メタマテリアル4は、光により電場Eが通るRLC回路として動作している。

或いは、本発明の光学迷彩装置10は、光を透過し、光学迷彩の対象物を周回して設けられる柔軟なベース体2と、ベース体2に設置される第1メタマテリアル3と、ベース体2に第1メタマテリアル3に重なる位置に間をおいて設置される第2メタマテリアル4とを備え、第1メタマテリアル3および第2メタマテリアル4は、光により電場Eが通るRLC回路として動作している。

【選択図】 図4



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

光を透過するベース体と、
前記ベース体に設置される第 1 メタマテリアルと、
前記ベース体に前記第 1 メタマテリアルに重なる位置に間をおいて設置される第 2 メタマテリアルとを備え、
前記第 1 メタマテリアルおよび前記第 2 メタマテリアルは、前記光により電場が通る R L C 回路として動作することを特徴とする光学迷彩装置。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の光学迷彩装置において、
前記第 1 メタマテリアルと前記第 2 メタマテリアルとは、
光学迷彩の対象物の周囲に 3 次元で配置されている
ことを特徴とする光学迷彩装置。

【請求項 3】

光を透過し、光学迷彩の対象物を周回して設けられる柔軟なベース体と、
前記ベース体に設置される第 1 メタマテリアルと、
前記ベース体に前記第 1 メタマテリアルに重なる位置に間をおいて設置される第 2 メタマテリアルとを備え、
前記第 1 メタマテリアルと前記第 2 メタマテリアルは、前記光により電場が通る R L C 回路として動作することを特徴とする光学迷彩装置。

【請求項 4】

請求項 3 に記載の光学迷彩装置において、
前記ベース体は、前記光学迷彩の対象物の周囲に巻き付けて構成されている
ことを特徴とする光学迷彩装置。

【請求項 5】

請求項 1 または請求項 3 に記載の光学迷彩装置において、
前記第 1 メタマテリアルまたは前記第 2 メタマテリアルは、金属、誘電体、金属が層状に形成されている
ことを特徴とする光学迷彩装置。

【請求項 6】

請求項 1 または請求項 3 に記載の光学迷彩装置において、
前記第 1 メタマテリアルは、前記光により電場が通る第 1 R L C 回路として動作し、
前記第 2 メタマテリアルは、前記光により電場が通る第 2 R L C 回路として動作することを特徴とする光学迷彩装置。

【請求項 7】

請求項 1 または請求項 3 に記載の光学迷彩装置において、
前記第 1 メタマテリアルと前記第 2 メタマテリアルとは、光学迷彩が成立するように、
誘電率と透磁率が設定されている
ことを特徴とする光学迷彩装置。

【請求項 8】

請求項 1 または請求項 3 に記載の光学迷彩装置において、
前記光は、第 1 の偏光と、前記第 1 の偏光と同じ周波数をもつ前記第 1 の偏光と方向が異なる第 2 の偏光であり、
前記第 1 の偏光と前記第 2 の偏光に対して、光学迷彩が成立するように、前記第 1 メタマテリアルと前記第 2 メタマテリアルとで誘電率と透磁率が設定されている
ことを特徴とする光学迷彩装置。

【請求項 9】

請求項 1 または請求項 3 に記載の光学迷彩装置において、

10

20

30

40

50

前記光は、可視光、近赤外線、中赤外線、遠赤外線、またはマイクロ波であることを特徴とする光学迷彩装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光学迷彩装置に関する。

【背景技術】

【0002】

物体を周りから見えないようにする技術として光学迷彩という技術がある。

従来の光学迷彩装置は、隠したい対象物の周りに、メタマテリアルを設置したメタマテリアルフィルムを同心円状に構成している。

10

【0003】

メタマテリアルフィルムは、透明な柔軟なシートに複数のメタマテリアルが設置されている。

メタマテリアルが設置されたメタマテリアルフィルムを、隠したい対象物の周りに同心円状に配置すれば、隠したい対象物の周囲に複数のメタマテリアルを配置できる。

【0004】

そして、光学迷彩に必要な屈折率 n の分布になるように、隠したい対象物の周囲のメタマテリアルの誘電率、透磁率 μ を変化させたものが、従来の光学迷彩装置である。

【先行技術文献】

20

【非特許文献】

【0005】

【非特許文献1】CLEO 2018,18023931「Infrared Invisibility Cloak Using Rolled Metamaterial Film」

【非特許文献2】精密工学学会誌Vol178,No9,2012,頁767-772「メタマテリアルの基礎」

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

図13は、従来の光学迷彩装置に用いるメタマテリアル103の動作を表す模式的斜視図である。

30

光学迷彩を行う場合、メタマテリアル103は、メタマテリアル103の一方端103aから他方端103bに偏光による電場Eを通す必要がある。

なお、メタマテリアル103の内部のHは、偏光の周波数の電場Eで発生する誘導磁界である。

【0007】

一方端103aから他方端103bに偏光の電場Eがあることで、メタマテリアル103がRLC回路として作用し、メタマテリアル103が偏光の周波数で共振する。

しかし、メタマテリアル103の一方端103aから他方端103bへの電場Eが通らない場合には、メタマテリアル103がRLC回路として動作しない。

そのため、例えば、ある偏光では、メタマテリアル103がRLC回路として動作するが、電場Eの方向がある偏光と90度異なる他の偏光には、メタマテリアル103がRLC回路として動作しない。

40

【0008】

したがって、従来のメタマテリアル103を用いた光学迷彩装置では、一つの偏波方向にしか光学迷彩を実現できなかった。

本発明は上記実状に鑑み創案されたものであり、同じ周波数のあらゆる方向の偏光に対して光学迷彩が可能な光学迷彩装置の提供を目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0009】

前記課題を解決するため、第1の本発明の光学迷彩装置は、光を透過するベース体と、

50

前記ベース体に設置される第1メタマテリアルと、前記ベース体に前記第1メタマテリアルに重なる位置に間をおいて設置される第2メタマテリアルとを備え、前記第1メタマテリアルおよび前記第2メタマテリアルは、前記光により電場が通るRLC回路として動作する。

【0010】

第2の本発明の光学迷彩装置は、光を透過し、光学迷彩の対象物を周回して設けられる柔軟なベース体と、前記ベース体に設置される第1メタマテリアルと、前記ベース体に前記第1メタマテリアルに重なる位置に間をおいて設置される第2メタマテリアルとを備え、前記第1メタマテリアルと前記第2メタマテリアルは、前記光により電場が通るRLC回路として動作する。

10

【発明の効果】

【0011】

本発明によれば、同じ周波数のあらゆる方向の偏光に対して光学迷彩が可能な光学迷彩装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0012】

【図1】光学迷彩が成立している場合の模式側面図。

【図2A】高周波の電場での分極を示す模式図。

【図2B】高周波の磁場での磁化を示す模式図。

【図3】本発明の第1実施形態のメタマテリアル構造体を示す模式的斜視図。

20

【図4】第1実施形態のメタマテリアル構造体の寸法関係を示す模式的斜視図。

【図5】2層目MIMストライプのパーに磁界を付与した際の現象を示す模式図。

【図6】第1実施形態のメタマテリアル構造体の1層目金属ストライプと2層目MIMストライプとをr軸方向に見た図。

【図7】第1実施形態の偏波無依存型光学迷彩装置の模式的斜視図。

【図8】図7のII方向矢視模式図。

【図9A】透明フィルムへの1層目金属ストライプおよび2層目MIMストライプの配置過程を示す図。

【図9B】透明フィルムへの1層目金属ストライプおよび2層目MIMストライプの配置過程を示す図。

30

【図9C】透明フィルムへの1層目金属ストライプおよび2層目MIMストライプの配置過程を示す図。

【図9D】透明フィルムへの1層目金属ストライプおよび2層目MIMストライプの配置過程を示す図。

【図9E】透明フィルムへの1層目金属ストライプおよび2層目MIMストライプの配置過程を示す図。

【図9F】透明フィルムへの1層目金属ストライプおよび2層目MIMストライプの配置過程を示す図。

【図10】偏波無依存型光学迷彩装置の製作過程を示す図。

【図11】第2実施形態のメタマテリアル構造体の寸法関係を示す模式的斜視図。

40

【図12】第2実施形態のメタマテリアル構造体の1層目金属ストライプと2層目MIMストライプとをr軸方向に見た図。

【図13】従来の光学迷彩装置に用いるメタマテリアルの動作を表す模式的斜視図。

【発明を実施するための形態】

【0013】

以下、本発明の実施形態について、適宜図面を参照しながら詳細に説明する。

図1は、光学迷彩が実現している場合の模式側面図である。

光学迷彩を実現するには、隠したい物9の後ろ(図1の左側)にある光が人の目e(図1の右側)に届くようにすればよい。

そのためには、隠したい物の周りにおける屈折率nを制御すればよい。

50

屈折率 n は、下式 (5) で表される。

【0014】

$$n = (\epsilon \times \mu)^{1/2} \quad (5)$$

式 (5) から、屈折率 n を変更するには、誘電率 ϵ と、透磁率 μ を変えればよい。

図 2 A は、高周波の電場 E での分極を示す模式図であり、図 2 B は、高周波の磁場 H での磁化を示す模式図である。

誘電率 ϵ は物質の固有の値であり、金属の電子振動によっても変わる。また、誘電率 ϵ は金属の構造体を空間におくことで変えられる。

【0015】

図 2 B に示すように、巨視的磁化は、高周波の磁界の変化に追従できない。そのため、透磁率 μ は一定である。

可視光のとき、空間での透磁率 $\mu = 1$ であり、誘電率 $\epsilon = 2.25$ である。したがって、可視光のときの空間での屈折率 $n = 1.5$ である

光学迷彩を実現するためには、誘電率 ϵ と、透磁率 μ を変える必要があるが、通常、透磁率 μ は変えることができない。

【0016】

そこで、メタマテリアルを用いる。

メタマテリアルは、金属の微細構造を変えることで、所望の誘電率 ϵ と透磁率 μ を得ることができる。つまり、ある周波数で共振を起こす形状の金属片 (メタマテリアル) を用いることで、所望の誘電率 ϵ と透磁率 μ が得られる。

【0017】

<< 第 1 実施形態 >>

<メタマテリアル構造体 1>

図 3 は、本発明の第 1 実施形態のメタマテリアル構造体 1 を示す模式的斜視図である。

同じ周波数であり、直交する方向の偏光 $pol. 1$ と偏光 $pol. 2$ とで光学迷彩が実現すれば、3次元の全ての方向の偏光は、偏光 $pol. 1$ と偏光 $pol. 2$ とのベクトル和で表せる。そのため、その周波数での全ての方向の偏光に光学迷彩が可能となる。

【0018】

第 1 実施形態のメタマテリアル構造体 1 は、2つの方向からの偏光 ($pol. 1$ と $pol. 2$) (図 7 参照) で光学迷彩を実現するため、二層構造のメタマテリアルとしている。つまり、メタマテリアル構造体 1 は、隠したい対象物 9 (図 1 参照) の周囲の空間の誘電率 ϵ と透磁率 μ を制御するため、二層構造のメタマテリアルとしている。

メタマテリアル構造体 1 は、偏光に対して RLC 回路となる 1 層目金属ストライプ 3 と 2 層目 MIM ストライプ 4 との 2 層構造としている。

【0019】

メタマテリアル構造体 1 は、可視光を透過する透明フィルム 2 と、1 層目金属ストライプ 3 と、2 層目 MIM ストライプ 4 とで構成されている。

透明フィルム 2 は、第 1 実施形態ではポリイミドを用いている。

1 層目金属ストライプ 3 は、金属で形成されている。1 層目金属ストライプ 3 は、RLC 回路として動作する。

2 層目 MIM ストライプ 4 は、金属 4s1、誘電体 4s2、金属 4s3 の 3 層構造である。2 層目 MIM ストライプ 4 は、RLC 回路として動作する。

【0020】

1 層目金属ストライプ 3 と 2 層目 MIM ストライプ 4 の金属 4s1、4s3 は、例えば、Au、Ti、Co、Ag 等の電流が流れる金属であればよい。

メタマテリアル構造体 1 はある位置での光学定数の誘電率 ϵ と透磁率 μ をほぼ独立に制御できる特徴がある。

誘電率 ϵ は、z 軸方向、 θ 軸方向、r 軸方向の各誘電率をそれぞれ ϵ_z 、 ϵ_θ 、 ϵ_r と表す。透磁率 μ は、z 軸方向、 θ 軸方向、r 軸方向の各透磁率をそれぞれ μ_z 、 μ_θ 、 μ_r と表す。

10

20

30

40

50

【0021】

図4は、第1実施形態のメタマテリアル構造体1の寸法関係を示す模式的斜視図である。

第1実施形態での一例のメタマテリアル構造体1は、略くの字形状の1層目金属ストライプ3と、略くの字形状の2層目MIMストライプ4とを採用している。

1層目金属ストライプ3は、膜厚 t_1 、幅 w_1 をもつ l_1 の長さの略くの字状の2つのバー3a、3bを有する構造である。2つのバー3a、3bは直交し、同じ長さ l_1 をもつ。

2層目MIMストライプ4は、幅 w_2 をもつ l_2 の長さの略くの字状の2つのバー4a、4bを有する構造である。2つのバー4a、4bは直交し、同じ長さ l_2 をもつ。

10

【0022】

<誘電率 ϵ_z 、 ϵ_r と透磁率 μ_z 、 μ_r の求め方>

z軸方向の誘電率 ϵ_z は、図4に示す1層目金属ストライプ3のバー3aに、光学迷彩を実現する偏光の周波数のZ方向の電場Eを加えて、Mie共振を生じさせる。そして、1層目金属ストライプ3のバー3aのz軸方向の l_1 の長さ、幅 w_1 、膜厚 t_1 を変えることで、光学迷彩を実現する誘電率 ϵ_z を得ることができる。

【0023】

r軸方向の誘電率 ϵ_r は、図4に示す1層目金属ストライプ3のバー3bに、光学迷彩を実現する偏光の周波数のr軸方向の電場Eを加えて、Mie共振を生じさせる。そして、1層目金属ストライプ3のバー3bのr軸方向の l_1 の長さ、幅 w_1 、膜厚 t_1 を変えることで、光学迷彩を実現する誘電率 ϵ_r を得ることができる。

20

r軸方向の誘電率 ϵ_r は、固定とする。r軸方向の誘電率 ϵ_r は、1層目金属ストライプ3と2層目MIMストライプ4とが設置された透明フィルム2で構成されるメタマテリアル構造体1の全体で決定される誘電率である。誘電率 ϵ_r は、透明フィルム2の誘電率が支配的である。

【0024】

z軸方向の透磁率 μ_z は、下記のようにして制御される。

図5は、2層目MIMストライプ4のバー4aに磁界Hを付与した際の現象を示す模式図である。

【0025】

30

図5に示すように、2層目MIMストライプ4のバー4aにz軸方向の磁界Hを与えると、誘電体4s2をz軸方向の磁界Hが貫く。すると、バー4aの金属4s1、誘電体4s2、金属4s4を通過する誘導電流Iが生じる。誘導電流Iにより、誘電体4s2に誘導磁界が生じる。

こうして、2層目MIMストライプ4のバー4aのz軸方向の l_2 の長さ、幅 w_2 、2層目MIMストライプ4の層構造(バー4aの金属4s1、誘電体4s2、金属4s4の各膜厚等)を変えることで、所望の透磁率 μ_z を得ることができる。

【0026】

r軸方向の透磁率 μ_r は、同様に、2層目MIMストライプ4のバー4bのr軸方向の l_2 の長さ、幅 w_2 、2層目MIMストライプ4の層構造(バー4bの金属4s1、誘電体4s2、金属4s4の各膜厚等)を変えることで、光学迷彩を実現する透磁率 μ_z を得ることができる。

40

r軸方向の透磁率 μ_r は、図4に示す1層目金属ストライプ3と2層目MIMストライプ4とをr軸方向に貫く磁界 H_r に対する透磁率である。

【0027】

1層目金属ストライプ3と2層目MIMストライプ4とは、r軸方向の磁界 H_r (図4の磁界 H_r)により、2層1対の共振器が形成される。

図6は、第1実施形態のメタマテリアル構造体1の1層目金属ストライプ3と2層目MIMストライプ4とをr軸方向に見た図である。

【0028】

50

図6に示すように、1層目金属ストライプ3と2層目MIMストライプ4とで囲まれる領域1rをr軸方向の磁界 H_r が貫くことで、1層目金属ストライプ3と2層目MIMストライプ4とでRLC回路が形成される。つまり、1層目金属ストライプ3と2層目MIMストライプ4とでRLC回路として動作する。

光学迷彩を実現する周波数のr軸方向の磁界 H_r を加えて、1層目金属ストライプ3と2層目MIMストライプ4とで形成されるRLC回路でLC共振させる。1層目金属ストライプ3と2層目MIMストライプ4とで囲まれる領域1rを増減させるとともに、1層目金属ストライプ3と2層目MIMストライプ4との距離hを変えることで、r軸方向の透磁率 μ_r が得られる。

【0029】

この際、1層目金属ストライプ3と2層目MIMストライプ4とは既定の部材を用いることができるので、既定の光学定数とは独立して、所望のr軸方向の透磁率 μ_r を得ることができる。

【0030】

<第1実施形態の偏波無依存型光学迷彩装置10>

図7は、第1実施形態の偏波無依存型光学迷彩装置10の模式的斜視図である。

方向が異なる偏光pol.1と偏光pol.2の光学迷彩を実現するためには、隠したい対象物9の周囲の空間の屈折率n(誘電率と透磁率 μ)を制御する必要がある。

【0031】

そこで、第1実施形態の偏波無依存型光学迷彩装置10は、1層目金属ストライプ3および2層目MIMストライプ4とを分散配置された透明フィルム2のメタマテリアルフィルム2Fを、隠したい対象物9に何回か巻きつける。これにより、隠したい対象物9の周りに、光学迷彩を実現する所定の誘電率と透磁率 μ とを有するメタマテリアル構造体1を3次元に配置している。

こうして、偏波無依存型光学迷彩装置10は、メタマテリアルフィルム2Fを巻きつけた領域を対象波長の周波数をもつ偏光に対して透明化を実現している。

【0032】

<90度方向が異なる偏光pol.1と偏光pol.2の光学迷彩>

90度方向が異なる偏光pol.1と、偏光pol.2に対して、光学迷彩を実現する条件について説明する。

【0033】

図8は、図7のII方向矢視模式図である。

90度方向が異なる偏光pol.1と偏光pol.2に対して、偏光pol.1で光学迷彩を実現する完全条件として、式(1)が知られている。

ここで、aは図8に示す隠したい対象物9の半径を示し、bは図8に示す1層目金属ストライプ3および2層目MIMストライプ4とを分散配置した透明フィルム2であるメタマテリアルフィルム2Fを隠したい対象物9に何回か巻きつけた半径を示す。

【0034】

rは、隠したい対象物9の中心Cから、任意の1層目金属ストライプ3および2層目MIMストライプ4までの距離を示す。

偏光pol.2で光学迷彩を実現する完全条件として、式(2)がある。

10

20

30

40

【数 1】

Pol. 1の完全条件

擬似条件

$$\left. \begin{aligned}
 \varepsilon_z &= \left(\frac{b}{b-a}\right)^2 \frac{r-a}{r} & (1-1) \\
 \mu_r &= \frac{r-a}{r} & (1-2) \\
 \mu_\theta &= \frac{r}{r-a} & (1-3)
 \end{aligned} \right\} (1) \Rightarrow \left. \begin{aligned}
 \varepsilon_z \mu_r &= \left(\frac{b}{b-a}\right)^2 \left(\frac{r-a}{r}\right)^2 & (3-1) \\
 \varepsilon_z \mu_\theta &= \left(\frac{b}{b-a}\right)^2 & (3-2)
 \end{aligned} \right\} (3)$$

Science314
997(2006)

10

【0035】

【数 2】

Pol. 2の完全条件

擬似条件

$$\left. \begin{aligned}
 \mu_r &= \left(\frac{b}{b-a}\right)^2 \frac{r-a}{r} & (2-1) \\
 \varepsilon_z &= \frac{r-a}{r} & (2-2) \\
 \varepsilon_\theta &= \frac{r}{r-a} & (2-3)
 \end{aligned} \right\} (2) \Rightarrow \left. \begin{aligned}
 \mu_z \varepsilon_r &= \left(\frac{b}{b-a}\right)^2 \left(\frac{r-a}{r}\right)^2 & (4-1) \\
 \mu_z \varepsilon_\theta &= \left(\frac{b}{b-a}\right)^2 & (4-2)
 \end{aligned} \right\} (4)$$

20

【0036】

式(1)は、疑似条件の式(3)と等価であり、式(2)は、疑似条件の式(4)と等価であることが証明されている(Science 314,977(2006))。

30

したがって、隠したい対象物9に対して、90度方向が異なる偏光pol. 1と、偏光pol. 2に対して、光学迷彩を実現するには、疑似条件の式(3)、(4)が成立するz軸方向、r軸方向の各誘電率 ε_z 、 ε_r と各透磁率 μ_z 、 μ_r を求めればよい。

【0037】

下記の第1ステップ～第4ステップにより、誘電率 ε_z 、 ε_r と透磁率 μ_z 、 μ_r が求められる。

第1ステップ：式(4-1)を満たすようにする。

式(4-1)を用いて、z軸方向の透磁率 μ_z と、r軸方向の誘電率 ε_r を求める。

誘電率 ε_r は、透明フィルム2の誘電率である。

式(4-1)から、a、b、r、 ε_r が明らかなので、z軸方向の透磁率 μ_z が求められる。

40

【0038】

2層目MIMストライプ4のバー4aとバー4bが直交して同じ長さ、同じ幅、同じ厚さをもつ場合、z軸方向の透磁率 μ_z と r軸方向の透磁率 μ_r は同じ値になる。

第2ステップ：式(4-2)を満たすようにする。

a、b、 μ_z が明らかなので、式(4-2)から ε_r が求められる。 ε_r をもつように1層目金属ストライプ3の構造分布を決定する。

このとき、1層目金属ストライプ3の2つのバー3a、3bが直交して同じ長さ、同じ幅、同じ厚さをもつ場合、 μ_z は μ_r と同じ値になる。

50

【0039】

第3ステップ：式(3-2)を満たすようにする。

第1、第2ステップで、 z 、 μ が求められており、自動的に満たされる。

第4ステップ：式(3-1)を満たすようにする。

z 、 a 、 b 、 r が明らかなので、式(3-1)から μ_r が求められる。

μ_r は、前記したようにして決定できる

【0040】

図6に示す1層目金属ストライプ3と2層目MIMストライプ4とをZ-平面上に移動させるとともに1層目金属ストライプ3と2層目MIMストライプ4との間の距離 h_1 を調整し、1層目金属ストライプ3と2層目MIMストライプ4との重ね合わせ方を決定し、所望の μ_r を得る。

10

【0041】

< 偏波無依存型光学迷彩装置10の製作 >

まず、透明フィルム2に1層目金属ストライプ3および2層目MIMストライプ4とを配置する方法について説明する。

【0042】

図9A~図9Fは、透明フィルム2への1層目金属ストライプ3および2層目MIMストライプ4の配置過程を示す図である。

図9Aに示すように、常温で、Si(シリコン)板11上に有機溶剤を含んだポリイミド12aを滴下する。その後、高温にして、滴下したポリイミド12aから有機溶剤をとばし、常温に戻す。ポリイミド12aは透明フィルム2を形成する。

20

続いて、図9Bに示すように、ポリイミド12a上にアクリル樹脂13aを滴下してコートする。そして、1層目金属ストライプ3のパターン3pを電子線描画装置Sで描画する。

【0043】

続いて、図9Cに示すように、パターン3pに金属を蒸着し、その他の箇所のアクリル樹脂13aを剥離液で除去する。

続いて、図9Dに示すように、1層目金属ストライプ3が実装されたポリイミド12aの上に、常温で、有機溶剤を含んだポリイミド12bを滴下する。その後、高温で滴下したポリイミド12bから有機溶剤をとばして、常温に戻す。

30

続いて、図9Eに示すように、形成したポリイミド12bにアクリル樹脂13bを滴下しコートする。そして、2層目MIMストライプ4のパターン4pを電子線描画装置Sで描画する。そして、パターン4pに金属、誘電体、金属の順に蒸着して2層目MIMストライプ4を形成する。そして、2層目MIMストライプ4以外の箇所のアクリル樹脂13bを剥離液で除去する。

【0044】

そして、図9Fに示すように、2層目MIMストライプ4が実装されたポリイミド12bの上に、常温で有機溶剤を含んだポリイミド12cを滴下する。その後、高温で滴下したポリイミド12cから有機溶剤をとばして、常温に戻す。

その後、1層目金属ストライプ3と2層目MIMストライプ4が実装された透明フィルム2であるメタマテリアルフィルム2Fを、ウェットエッチングによりSi板11から剥離する。

40

【0045】

上述した方法で、隠したい対象物9の形状にあわせて、予め透明フィルム2内にメタマテリアルである1層目金属ストライプ3および2層目MIMストライプ4とが分散配置されたメタマテリアルフィルム2Fが作成される。

【0046】

図10は、偏波無依存型光学迷彩装置10の製作過程を示す図である。

図10、図7に示すように、偏波無依存型光学迷彩装置10は、1層目金属ストライプ3および2層目MIMストライプ4とを分散配置した透明フィルム2のメタマテリアルフ

50

ィルム 2 F を、隠したい対象物 9 に何回か巻きつけて構成される。これにより、隠したい対象物 9 の周囲の空間に、光学迷彩を実現する所定の誘電率 ϵ と透磁率 μ とを有するメタマテリアル構造体 1 が配置される。すなわち、隠したい対象物 9 の中心 C から距離 r のある 1 層目金属ストライプ 3 および 2 層目 M I M ストライプ 4 は、光学迷彩を実現する所定の誘電率 ϵ と透磁率 μ をもつ。

【 0 0 4 7 】

すなわち、1 層目金属ストライプ 3 および 2 層目 M I M ストライプ 4 とを 2 次元に分散配置した透明フィルム 2 のメタマテリアルフィルム 2 F を、隠したい対象物 9 の周囲に巻くことで、隠したい対象物 9 の周囲に 1 層目金属ストライプ 3 および 2 層目 M I M ストライプ 4 とを 3 次元に分散配置できる。

そのため、隠したい対象物 9 の中心 C から距離 r の 3 次元の位置にある 1 層目金属ストライプ 3 および 2 層目 M I M ストライプ 4 が、光学迷彩を実現する式 (4 - 1)、(4 - 2)、(3 - 2)、(3 - 1) (第 1 ステップ ~ 第 4 ステップ) を満たす所定の誘電率 ϵ と透磁率 μ をもつようにする。

【 0 0 4 8 】

図 1 0 に示すように、光学迷彩を実現する所定の誘電率 ϵ と透磁率 μ を設定したメタマテリアルフィルム 2 F を隠したい対象物 9 に何回か巻きつけることでメタマテリアルフィルム 2 F を巻きつけた領域が対象波長の偏光 pol. 1 と、偏光 pol. 2 に対して透明化する。

2 層型のメタマテリアル (3、4) を有するフィルムを巻くことで、3 次元的に光を迂回させる “ 偏波無依存型光学迷彩 ” が実現可能となる。

【 0 0 4 9 】

本偏波無依存型光学迷彩装置 1 0 では、二層構造 (1 層目金属ストライプ 3 と 2 層目 M I M ストライプ 4) のメタマテリアルを用いることにより、各方向の光学定数をほぼ独立に設定できる。

2 つの偏波方向 (基本ベクトル) の合成である全ての偏波方向に対して光迷彩を実現できる。

【 0 0 5 0 】

< < 第 2 実施形態 > >

図 1 1 は、第 2 実施形態のメタマテリアル構造体 2 1 の寸法関係を示す模式的斜視図である。図 1 1 では、3 次元空間を互いに直交する z 軸、 x 軸、 r 軸で示す。

第 2 実施形態のメタマテリアル構造体 2 1 は、第 1 実施形態の略く の 字形状の 1 層目金属ストライプ 3 および 2 層目 M I M ストライプ 4 に代えて、略十字形状の 1 層目金属ストライプ 2 3 および 2 層目 M I M ストライプ 2 4 としたものである。その他の構成は、第 1 実施形態と同様である。

【 0 0 5 1 】

メタマテリアル構造体 2 1 は、有機薄膜の可視光を透過する透明フィルム 2 2 の内部に 2 層構造の金属構造を内包する。

1 層目は 1 層目金属ストライプ 2 3 であり、2 層目は 2 層目 M I M (金属 / 誘電体 / 金属) ストライプ 2 4 である。

1 層目金属ストライプ 2 3 は、金属である。

2 層目 M I M ストライプ 2 4 は、金属 2 4 s 1、誘電体 2 4 s 2、金属 2 4 s 3 の 3 層構造である。

【 0 0 5 2 】

1 層目金属ストライプ 2 3 と 2 層目 M I M ストライプ 2 4 の金属 2 4 s 1、2 4 s 3 は、例えば、A u、T i、C o、A g 等の電流が流れる金属であればよい。

1 層目金属ストライプ 2 3 は、幅 w_{21} をもつ長さ l_{21} の略十字形状の 2 つのバー 2 3 a、2 3 b を有する構造である。2 つのバー 2 3 a、2 3 b は直交し、同じ長さをもつ。2 つのバー 2 3 a、2 3 b は中間位置で直交している。

1 層目は金属ストライプ 2 3 の 2 つのバー 2 3 a、2 3 b の長さは、それぞれ l_{21} とし、幅は w_{21} とする。

10

20

30

40

50

【0053】

2層目MIMストライプ24は、幅 w_{22} をもつ l_{22} の長さの略十字形状の2つのバー24a、24bを有する構造である。2つのバー24a、24bは直交し、同じ長さをもつ。2つのバー24a、24bは中間位置で直交している。

メタマテリアル構造体21は、各方向の光学定数、z軸方向、 θ 軸方向、r軸方向の各誘電率 ϵ_z 、 ϵ_θ 、 ϵ_r と各透磁率 μ_z 、 μ_θ 、 μ_r をほぼ独立に設定できる。

z軸方向の誘電率 ϵ_z は、図11に示す1層目金属ストライプ23のバー23bに、光学迷彩を実現する偏光の周波数のZ方向の電場Eを加えて、Mie共振を生じさせる。そして、1層目金属ストライプ23のバー23bのz軸方向の l_{21} の長さ、幅 w_{21} 、膜厚 t_{21} を変えることで、光学迷彩に必要な誘電率 ϵ_z を得ることができる。

10

【0054】

θ 軸方向の誘電率 ϵ_θ は、図11に示す1層目金属ストライプ23のバー23aに、偏光の周波数の θ 方向の電場Eを加えて、Mie共振を生じさせる。そして、1層目金属ストライプ23のバー23aの θ 軸方向の l_{21} の長さ、幅 w_{21} 、膜厚 t_{21} を変えることで、光学迷彩に必要な誘電率 ϵ_θ を得ることができる。

r軸方向の誘電率 ϵ_r は、固定とする。r軸方向の誘電率 ϵ_r は、1層目金属ストライプ23と2層目MIMストライプ24とが設置された透明フィルム22を有するメタマテリアル構造体21の全体で決定される誘電率である。誘電率 ϵ_r は、透明フィルム22の屈折率(誘電率)が支配的である。

【0055】

20

z軸方向の透磁率 μ_z は、下記のようにして制御される。

図5と同様に、2層目MIMストライプ24のバー24aにz軸方向の磁界Hを与えると、誘電体24s2をz軸方向の磁界Hが貫く。すると、バー24aの金属24s1、誘電体24s2、金属24s3を通過する誘導電流Iが生じ、誘電体24s2に誘導磁界が生じる。こうして、2層目MIMストライプ24のバー24aのz軸方向の l_{22} の長さ、幅 w_{22} 、2層目MIMストライプ24の層構造(バー24aの金属24s1、誘電体24s2、金属24s4の各膜厚等)を変えることで、光学迷彩を実現する透磁率 μ_z を得ることができる。

【0056】

θ 軸方向の透磁率 μ_θ は、z軸方向の透磁率 μ_z と同様にして制御される。

30

2層目MIMストライプ24のバー24bに θ 軸方向の磁界Hを与えると、誘電体24s2を θ 軸方向の磁界Hが貫く。そして、2層目MIMストライプ24のバー24bの金属24s1、誘電体24s2、金属24s3を通過する誘導電流Iを生じさせる。

そして、2層目MIMストライプ24のバー24bの θ 軸方向の l_{22} の長さ、幅 w_{22} 、2層目MIMストライプ24の層構造(バー24bの金属24s1、誘電体24s2、金属24s4の各膜厚等)を変えることで、光学迷彩を実現する透磁率 μ_θ を得ることができる。

【0057】

r軸方向の透磁率 μ_r は、図11に示す1層目金属ストライプ23と2層目MIMストライプ24とをr軸方向に貫く磁界 H_r に対する透磁率である。

40

1層目金属ストライプ23と2層目MIMストライプ24とは、r軸方向の磁界 H_r (図11に示す磁界 H_r)により、2層1対の共振器が形成される。

【0058】

図12は、第2実施形態のメタマテリアル構造体21の1層目金属ストライプ23と2層目MIMストライプ24とをr軸方向に見た図である。

1層目金属ストライプ23と2層目MIMストライプ24とで囲まれる領域21r(図12のハッチングで示す)をr軸方向の磁界 H_r が貫くことで、1層目金属ストライプ23と2層目MIMストライプ24とでRLC回路が形成される。光学迷彩を実現する周波数のr軸方向(図11参照)の磁界 H_r を加え、1層目金属ストライプ23と2層目MIMストライプ24とで形成されるRLC回路でLC共振させて、光学迷彩に必要なr軸方向

50

の透磁率 μ_r を得る。

【0059】

そこで、1層目金属ストライプ23と2層目MIMストライプ24とで囲まれる領域21rを、1層目金属ストライプ23と2層目MIMストライプ24とを遠ざけたり近付けたりして増減する。また、1層目金属ストライプ23と2層目MIMストライプ24との間の距離h2を調整して、r軸方向の透磁率 μ_r を得る。

この際、1層目金属ストライプ23と2層目MIMストライプ24とは既定の部材を用いることができるので、既定の光学定数とは独立して、つまり、既定の光学定数に影響を与えず、必要なr軸方向の透磁率 μ_r を得ることができる。

【0060】

偏光pol.1と、偏光pol.2に対して、光学迷彩を実現するには、第1実施形態と同様、前記した式(3-1)、(3-2)、(4-1)、(4-2)を満たす誘電率 ϵ_z 、 ϵ_r と、透磁率 μ_z 、 μ_r を設定する。

1層目金属ストライプ23の2つのバー23a、23bが直交して同じ長さ、同じ幅、同じ厚さをもつ場合、 ϵ_z は ϵ_r と同じ値になる。 ϵ_z 、 ϵ_r は、 l_{21} の長さ、幅 w_{21} 、膜厚 t_{21} で決定される。

【0061】

2層目MIMストライプ24のバー24aとバー24bが直交して同じ長さ、同じ幅、同じ厚さをもつ場合、z軸方向の透磁率 μ_z とr軸方向の透磁率 μ_r は同じ値になる。透磁率 μ_z 、 μ_r は、 l_{22} の長さ、幅 w_{22} 、2層目MIMストライプ24の層構造で決定される。

ϵ_r は、透明フィルム22の屈折率(誘電率)が支配的である。

第2実施形態によれば、90度方向が異なる偏光pol.1と、偏光pol.2に対して、光学迷彩を実現することができる。

【0062】

<<その他の実施形態>>

1. 第1実施形態では、略くの字形状の1層目金属ストライプ3および略くの字形状の2層目MIMストライプ4の例を示し、第2実施形態では、略十字形状の1層目金属ストライプ23および略十字形状の2層目MIMストライプ24の例を示したが、1層目金属ストライプ3および2層目MIMストライプ4は、単体でRLC回路として作用し、1層目金属ストライプ3と2層目MIMストライプ4とを間をおいて重ねてRLC回路として動作すれば、1層目金属ストライプ3の構成および2層目MIMストライプ4の構成は、例示した略くの字形状や略十字形状以外の形状でもよい。例えば、図13に示す略コの字形状でもよい。

【0063】

2. 前記第1実施形態、第2実施形態では、透明フィルム2、22は、隠したい対象物9の周囲にらせん状に巻いて、1層目金属ストライプ3、23、2層目MIMストライプ4、24を3次元に配置する場合を例示したが、1層目金属ストライプ3、23、2層目MIMストライプ4、24を隠したい対象物9の周囲に3次元に配置できれば、同心円状に配置してもよいし、その他の方法や位置で1層目金属ストライプ3、23、2層目MIMストライプ4、24を配置してもよい。

【0064】

3. 前記第1実施形態、第2実施形態では、1層目金属ストライプ3、23を下に配置し、2層目MIMストライプ4、24を上配置する例を説明したが、1層目金属ストライプ3、23を上配置し、2層目MIMストライプ4、24を下に配置することも可能である。

【0065】

4. 前記第1実施形態、第2実施形態では、光として、可視光を例に挙げて説明したが、可視光以外の近赤外線、中赤外線、遠赤外線、マイクロ波等の可視光以外でも可能であり、光学迷彩を実現できる。

10

20

30

40

50

【 0 0 6 6 】

5 . 前記第 1 実施形態、第 2 実施形態では、透明フィルム 2、2 2 は、可視光、近赤外線等が透過するポリイミドを用いる場合を例示したが、透明フィルム 2、2 2 は、その光が透過して分子振動がのらない材料を用いればよい。例えば、中赤外線、遠赤外線、マイクロ波等は、これらの光（電磁波）が透過して分子振動が共振現象にのらない材料を用いればよい。

【 0 0 6 7 】

6 . 前記第 1 実施形態、第 2 実施形態では、偏光 pol. 1 と、偏光 pol. 2 とが 9 0 度方向が異なる場合を説明したが、偏光 pol. 1 と、偏光 pol. 2 とは、方向が異なれば 9 0 度以外でもよい。

10

7 . 本発明は上記した第 1 実施形態、第 2 実施形態に限定されるものではなく、様々な変形例が含まれる。特許請求の範囲内で様々な形態が可能である。

【 符号の説明 】

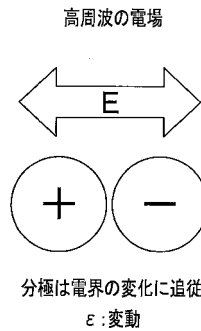
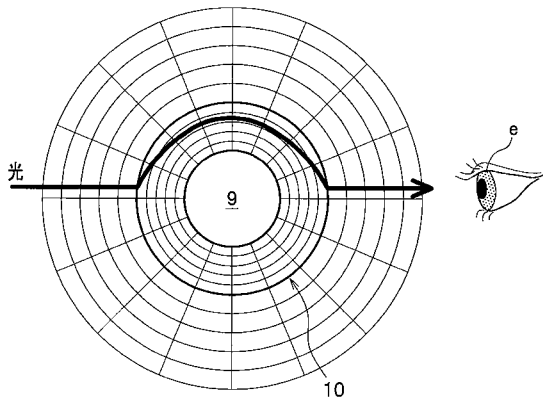
【 0 0 6 8 】

- 2 透明フィルム(ベース体)
- 3 1 層目金属ストライプ(第 1 メタマテリアル)
- 4 2 層目 M I M ストライプ(第 2 メタマテリアル)
- 4 s 1 金属
- 4 s 2 誘電体
- 4 s 3 金属
- 9 隠したい対象物(対象物)
- 1 0 偏波無依存型光学迷彩装置(光学迷彩装置)
- E 電場
- pol. 1 偏光(第 1 の偏光)
- pol. 2 偏光(第 2 の偏光)

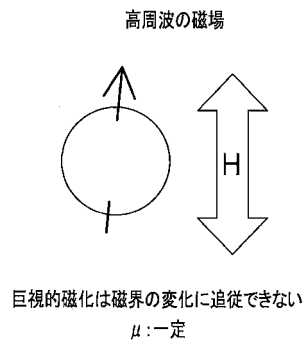
20

【 図 1 】

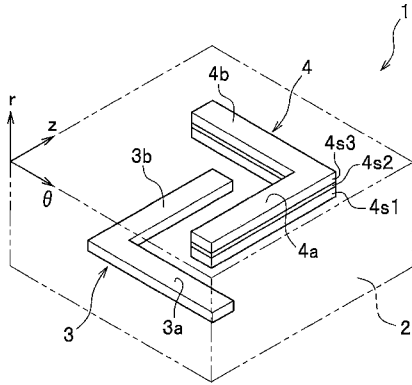
【 図 2 A 】



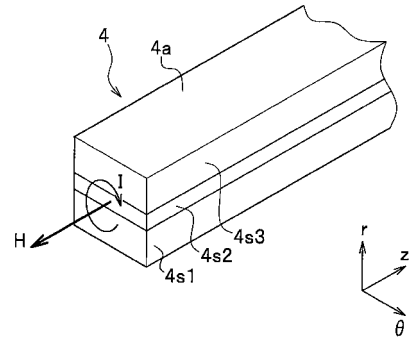
【 図 2 B 】



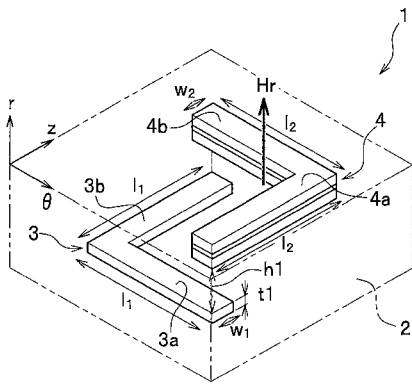
【 図 3 】



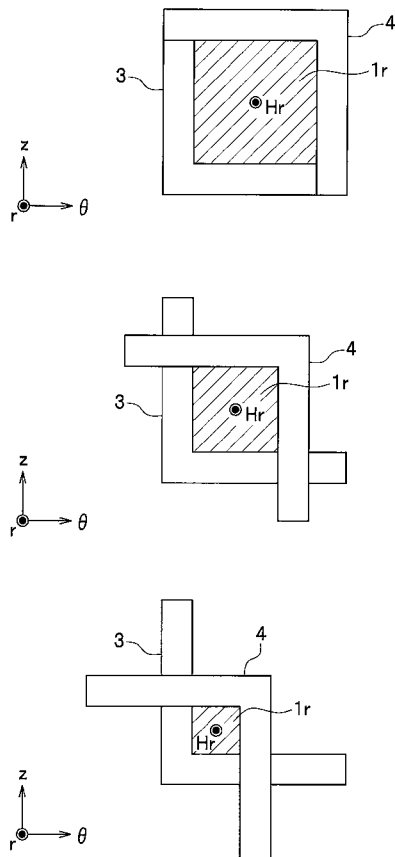
【 図 5 】



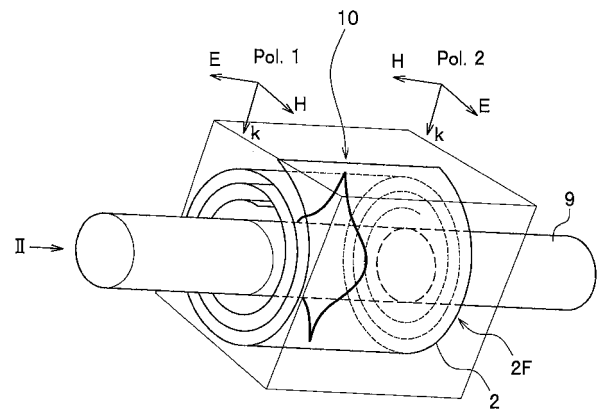
【 図 4 】



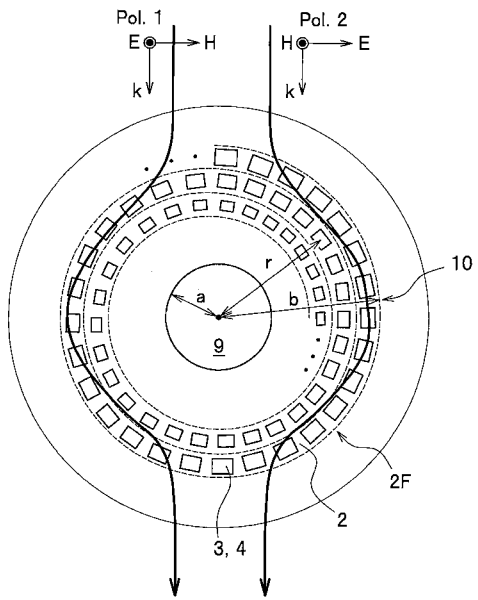
【 図 6 】



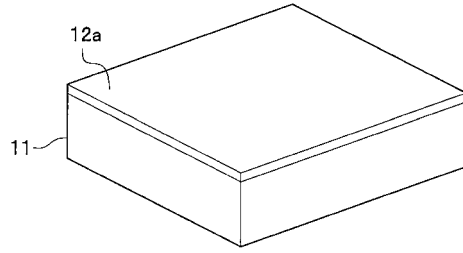
【 図 7 】



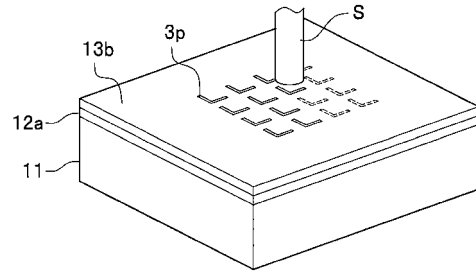
【 図 8 】



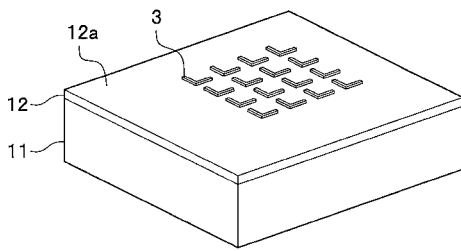
【 図 9 A 】



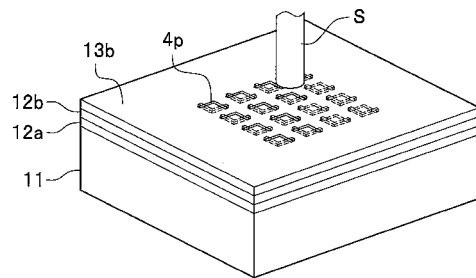
【 図 9 B 】



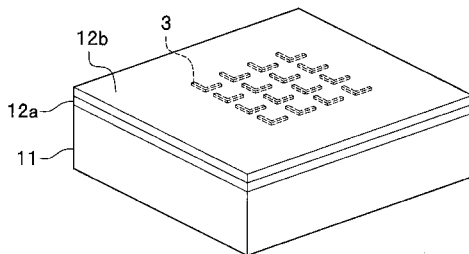
【 図 9 C 】



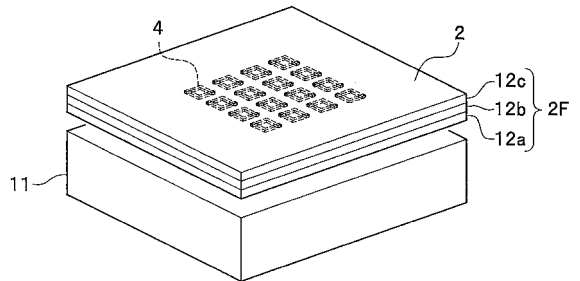
【 図 9 E 】



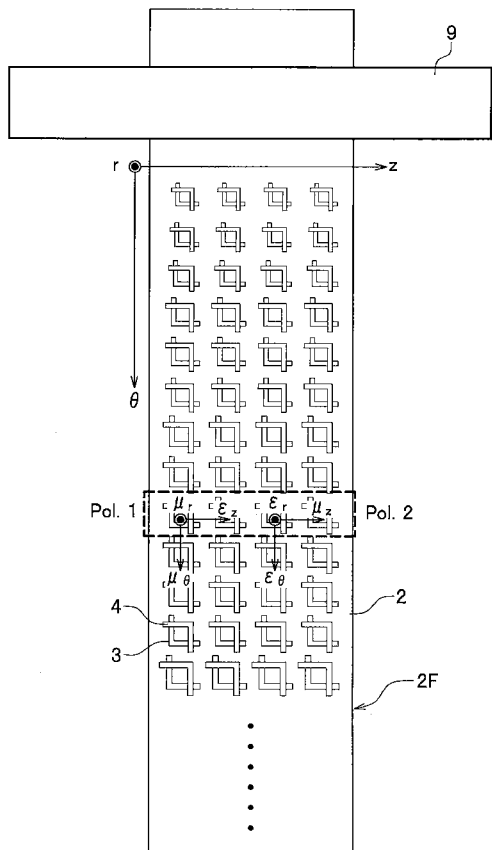
【 図 9 D 】



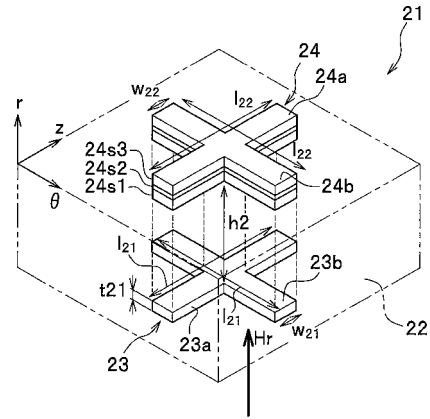
【 図 9 F 】



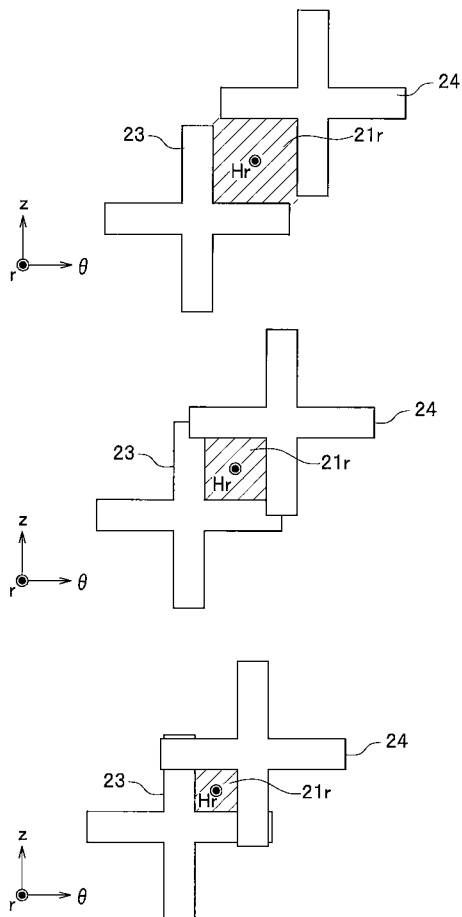
【 図 1 0 】



【 図 1 1 】



【 図 1 2 】



【 図 1 3 】

