

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号  
特許第4893367号  
(P4893367)

(45) 発行日 平成24年3月7日(2012.3.7)

(24) 登録日 平成24年1月6日(2012.1.6)

(51) Int.Cl.

F I

HO 1 F 17/00 (2006.01)

HO 1 F 10/06 (2006.01)

HO 1 F 41/04 (2006.01)

HO 1 F 17/00 B

HO 1 F 10/06

HO 1 F 41/04 C

請求項の数 7 (全 19 頁)

(21) 出願番号	特願2007-47172 (P2007-47172)	(73) 特許権者	000003067
(22) 出願日	平成19年2月27日 (2007.2.27)		T D K株式会社
(65) 公開番号	特開2007-294882 (P2007-294882A)		東京都中央区日本橋一丁目13番1号
(43) 公開日	平成19年11月8日 (2007.11.8)	(74) 代理人	100109656
審査請求日	平成21年12月17日 (2009.12.17)		弁理士 三反崎 泰司
(31) 優先権主張番号	特願2006-98630 (P2006-98630)	(74) 代理人	100098785
(32) 優先日	平成18年3月31日 (2006.3.31)		弁理士 藤島 洋一郎
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)	(72) 発明者	政井 琢
			東京都中央区日本橋一丁目13番1号 T D K株式会社内
		審査官	山田 倍司

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 薄膜磁気デバイス

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

薄膜コイルと、  
前記薄膜コイルの延在面上に積層され、積層面内の一方向に延設された複数の帯状磁性膜と  
を備え、  
前記複数の帯状磁性膜は、各帯状磁性膜の磁化容易軸と前記薄膜コイルとが直交する領域にのみ、前記磁化容易軸と直交する方向を長手方向として形成されており、  
前記帯状磁性膜は、この帯状磁性膜の長手方向に沿って並んだ複数の磁区を有し、  
前記磁区の長手方向が、前記帯状磁性膜の幅方向と一致している  
ことを特徴とする薄膜磁気デバイス。

10

【請求項2】

薄膜コイルと、  
前記薄膜コイルの延在面上に積層され、積層面内の一方向に延びる複数のスリットが形成された磁性膜と  
を備え、  
前記複数のスリットは、前記磁性膜の磁化容易軸と前記薄膜コイルとが直交する領域にのみ、前記磁化容易軸と直交する方向を長手方向として形成されており、  
前記磁性膜のうちの前記複数のスリット間に挟まれた帯状領域に、複数の磁区が前記帯状領域の長手方向に沿って並んでおり、

20

前記磁区の長手方向が、前記帯状領域の幅方向と一致していることを特徴とする薄膜磁気デバイス。

【請求項 3】

前記薄膜コイルは、  
前記磁化容易軸に沿って延在する第 1 のコイルパターンと、  
前記磁化容易軸と直交する方向に沿って延在する第 2 のコイルパターンとを含み、  
前記帯状磁性膜または前記スリットは、前記第 2 のコイルパターンに沿って形成されている

ことを特徴とする請求項 1 または請求項 2 に記載の薄膜磁気デバイス。

【請求項 4】

前記帯状磁性膜または前記帯状領域の幅が、0.1 mm 以上かつ 5 mm 以下であることを特徴とする請求項 1 ないし請求項 3 のいずれか 1 項に記載の薄膜磁気デバイス。

【請求項 5】

前記帯状磁性膜または前記帯状領域の幅が、0.3 mm 以上かつ 2 mm 以下であることを特徴とする請求項 4 に記載の薄膜磁気デバイス。

【請求項 6】

前記帯状磁性膜または前記帯状領域の幅が、0.3 mm 以上かつ 1 mm 以下であることを特徴とする請求項 5 に記載の薄膜磁気デバイス。

【請求項 7】

前記磁区の長手方向の長さに対する前記磁区の幅方向の長さの比が、0.3 以下であることを特徴とする請求項 1 ないし請求項 6 のいずれか 1 項に記載の薄膜磁気デバイス。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、薄膜コイルと磁性膜とを備えた薄膜磁気デバイスに関する。

【背景技術】

【0002】

従来より、各種用途の電子機器分野において、集積化受動部品として、薄膜コイルおよび磁性膜を含んで構成される薄膜インダクタや薄膜トランスなどの薄膜磁気デバイスが広く利用されている。

【0003】

図 25 は、矩形状のスパイラルコイルにより構成された従来の薄膜磁気デバイス（薄膜インダクタ 101）の一例を表したものであり、図 25（A）は平面構成を、図 25（B）は図 25（A）に示した III-III 部分の矢視断面構成を、それぞれ表している。この薄膜インダクタ 101 では、基板 111 上に、絶縁膜 112、端子 113 T1, 113 T2 を有する矩形状のスパイラルコイル 113、および中央部分に開口 115 を有する磁性膜 114 がこの順に Z 軸方向に積層された積層構造をなしている。また、磁性膜 114 は、成膜時などに X 軸方向に所定の磁場が印加されることにより、この磁場印加方向（X 軸方向）に磁場容易軸 Me が形成される一方、これと直交する方向（Y 軸方向）に磁場困難軸 Mh が形成され、一軸異方性を示すようになっている。

【0004】

ところで、近年ではこのような薄膜磁気デバイスにおいて、GHz（ギガ・ヘルツ）帯域等での高周波用途が期待され、高周波特性の良好な磁性膜、具体的には高周波領域において高い透磁率を示す磁性膜が求められている。

【0005】

例えば、図 25 に示したような従来の薄膜磁気デバイスでは、薄膜コイルが矩形状のスパイラルコイルであるため、X 軸方向および Y 軸方向に延在するコイルパターンがそれぞれ存在し、磁化容易軸 Me に沿ったものと、磁化困難軸 Mh に沿ったものとが混在している。そのため、コイルによって生成される磁化方向が磁化容易軸 Me と直交するコイルパターン（X 軸方向のもの）については、もともと低周波領域での透磁率が低いものの、高

10

20

30

40

50

周波領域まである程度の透磁率を維持できる一方、磁化方向が磁化容易軸  $M_e$  と平行するコイルパターン（Y 軸方向のもの）については、低周波領域での透磁率が高いものの、高周波領域では透磁率が急激に低下してしまうことになる。よって、磁性膜の磁気特性利用効率が悪く（正方形形状のスパイラルコイルの場合、約 50 % となる）、高周波領域において高い透磁率を示すことが困難であった。

【0006】

そこで、例えば特許文献 1 には、矩形状のスパイラルコイルが構成する 2 方向のコイルパターンにそれぞれ対応させ、磁性膜の形状磁気異方性を利用して磁性膜の磁化容易軸方向がそれぞれ異なることとなるようにした技術が開示されている。具体的には、2 方向のコイルパターンに対応して別個に磁場中で磁性膜を形成することにより、両方向のコイルパターンともに磁化容易軸と直交するようにし、高周波領域での透磁率向上を図ったものである。

10

【0007】

また、例えば特許文献 2 には、矩形状のスパイラルコイルのコイルパターンに対応して周回する微細なスリットを形成することにより、磁性膜の磁化容易軸方向を回転させるようにした技術が開示されている。これも上記技術と同様に、両方向のコイルパターンを磁化容易軸と直交させることにより、高周波領域での透磁率向上を図ったものである。

【0008】

【特許文献 1】特開平 8 - 172015 号公報

【特許文献 2】特開 2001 - 143929 号公報

20

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

しかしながら、特許文献 1、2 に示された薄膜磁気デバイスでは、高周波領域での透磁率が実用上十分なレベルまでには至っていなかった。よって、高周波領域での透磁率の更なる向上が望まれる。

【0010】

また、特に特許文献 1 に示された薄膜磁気デバイスの製造方法では、2 方向のコイルパターンに対応して磁性膜を別個に形成する必要があるため、図 25 に示したような従来の薄膜磁気デバイスのものと比べて製造工程が複雑化してしまい、簡易に製造するのが困難であった

30

【0011】

本発明はかかる問題点に鑑みてなされたもので、その目的は、高周波領域での透磁率をより効果的に向上させることが可能な薄膜磁気デバイスを提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0013】

本発明の第 1 の薄膜磁気デバイスは、薄膜コイルと、この薄膜コイルの延在面上に積層され、積層面内の一方向に延設された複数の帯状磁性膜とを備え、これら複数の帯状磁性膜が、各帯状磁性膜の磁化容易軸と薄膜コイルとが直交する領域にのみ、磁化容易軸と直交する方向を長手方向として形成されており、帯状磁性膜がこの帯状磁性膜の長手方向に沿って並んだ複数の磁区を有すると共に、この磁区の長手方向が帯状磁性膜の幅方向と一致するようにしたものである。

40

【0014】

本発明の第 2 の薄膜磁気デバイスは、薄膜コイルと、この薄膜コイルの延在面上に積層され、積層面内の一方向に延びる複数のスリットが形成された磁性膜とを備え、これら複数のスリットが、磁性膜の磁化容易軸と薄膜コイルとが直交する領域にのみ、磁化容易軸と直交する方向を長手方向として形成されており、磁性膜のうちの複数のスリット間に挟まれた帯状領域に、複数の磁区が帯状領域の長手方向に沿って並ぶようにすると共に、この磁区の長手方向が帯状領域の幅方向と一致するようにしたものである。なお、「スリット」とは、短冊状や帯状の開口に加え、短冊状や帯状の凹面をも含む意味である。

50

## 【 0 0 1 5 】

本発明の薄膜磁気デバイスでは、複数の磁区が、積層面内の一方向に延びる帯状磁性膜またはスリット間の帯状領域の幅方向を長手方向としつつ帯状磁性膜または帯状領域の長手方向に沿って並んでいるため、帯状磁性膜または磁性膜の磁化容易軸と薄膜コイルとの間の位置関係によらず、すなわち、これらが互いに平行な場合および互いに直交している場合のいずれにおいても、高周波領域である程度の透磁率が維持される。

また、上記帯状磁性膜またはスリットは、帯状磁性膜または磁性膜の磁化容易軸と薄膜コイルとが直交する領域にのみ、この磁化容易軸と直交する方向を長手方向として形成されている。これにより、磁化容易軸と薄膜コイルとが直交する領域の高周波での透磁率が、選択的に増加される。なお、「直交する」とは、文字通り完全に直交する態様だけでなく、略直交する態様をも含むものである。

10

## 【 0 0 1 7 】

本発明の薄膜磁気デバイスでは、上記薄膜コイルが、磁化容易軸に沿って延在する第1のコイルパターンと磁化容易軸と直交する方向に沿って延在する第2のコイルパターンとを含む場合、上記帯状磁性膜またはスリットをこの第2のコイルパターンに沿って形成するように構成可能である。

## 【 0 0 1 8 】

本発明の薄膜磁気デバイスでは、上記帯状磁性膜または帯状領域の幅を0.1mm以上かつ5mm以下にするのが好ましく、0.3mm以上かつ2mm以下にするのがより好ましく、0.3mm以上かつ1mm以下にするのがさらに好ましい。

20

## 【 0 0 1 9 】

本発明の薄膜磁気デバイスでは、上記磁区の長手方向の長さに対する磁区の幅方向の長さの比が0.3以下となるようにするのが好ましい。

## 【 発明の効果 】

## 【 0 0 2 6 】

本発明の薄膜磁気デバイスによれば、複数の磁区を、積層面内の一方向に延びる帯状磁性膜またはスリット間の帯状領域の幅方向を長手方向としつつ帯状磁性膜または帯状領域の長手方向に沿って並んでいるようにしたので、帯状磁性膜または磁性膜の磁化容易軸と薄膜コイルとが互いに平行な場合および互いに直交している場合のいずれにおいても、高周波領域である程度の透磁率を維持することができる。よって、高周波領域での透磁率をより効果的に向上させることが可能となる。

30

また、帯状磁性膜または磁性膜の磁化容易軸と薄膜コイルとが直交する領域にのみ帯状磁性膜またはスリットを形成すると共に、磁化容易軸と直交する方向に延在させるようにしたので、磁化容易軸と薄膜コイルとが直交する領域の高周波での透磁率を選択的に増加させることができる。よって、高周波領域での透磁率をさらに効果的に向上させることが可能となる。

## 【 発明を実施するための最良の形態 】

## 【 0 0 2 9 】

以下、本発明を実施するための最良の形態（以下、単に実施の形態という。）について、図面を参照して詳細に説明する。

40

## 【 0 0 3 0 】

図1および図2は、本発明の一実施の形態に係る薄膜磁気デバイスとしての薄膜インダクタ1の構成を表しており、図1はX-Y平面構成を、図2は図1に示したII-II線に沿ったX-Z断面構成を表している。この薄膜インダクタ1は、基板11上に、絶縁膜12、薄膜状のコイル13、および磁性膜14がこの順に形成された積層構造を有している。

## 【 0 0 3 1 】

基板11は、薄膜インダクタ1全体を支持する矩形状の基板であり、例えば、ガラス、シリコン（Si）、酸化アルミニウム（ $Al_2O_3$ ；いわゆるアルミナ）、セラミックス、半導体または樹脂などにより構成されている。なお、基板11の構成材料は、必ずしも上

50

記した一連の材料に限らず、自由に選定可能である。

【0032】

絶縁膜12は、コイル13を周辺から電氣的に絶縁するものであり、例えば、酸化ケイ素( $\text{SiO}_2$ )などの絶縁性材料により構成されている。

【0033】

コイル13は、一端(13T1)と他端(13T2)との間にインダクタを構成するものであり、例えば銅(Cu)などの導電性材料により構成されている。このコイル13は、X-Y平面内で端子13T1, 13T2がいずれも外部へ導出されるように巻回された矩形のスパイラル型構造となっており、X軸方向に沿って延在するコイルパターン(第1のコイルパターン)と、Y軸方向に沿って延在するコイルパターン(第2のコイルパターン)とを有している。また、コイル13のうちの端子13T2に通じる部分は、コイル13のうちの端子13T1に通じる部分を含む巻回部分と接触せずに外部に導かれるように、その巻回部分よりも下層に配置されている。なお、図2では図示内容を簡略化するために、コイル13のうちの端子13T2へ通じる部分の図示を省略している。

10

【0034】

磁性膜14は、薄膜インダクタ1のインダクタンスを高めるためのものであり、中央部に矩形の開口15を有している。また、磁性膜14は、X軸方向に磁化容易軸Meを有すると共にY軸方向に磁化困難軸Mhを有し、一軸異方性を示している。この磁性膜14は、例えば、コバルト(Co)系合金、鉄(Fe)系合金またはニッケル鉄合金(NiFe; いわゆるパーマロイ)などの磁性材料により構成されている。このうち、コバルト系合金としては、例えば、薄膜インダクタ1の実用上の観点から、コバルトジルコニウムタンタル( $\text{CoZrTa}$ )系合金またはコバルトジルコニウムニオブ( $\text{CoZrNb}$ )系合金などが好ましい。なお、開口15の形状は矩形には限らず、任意の形状とすることができる。

20

【0035】

磁性膜14には、磁化容易軸Meとコイル14とが略直交する領域、すなわちコイル14のうちのY軸方向に延在する第2のコイルパターンに対応する領域に、この第2のコイルパターンと重なるように、磁化容易軸Meと略直交する方向、すなわちY軸方向(磁化困難軸Mh方向)に延びる短冊状(帯状)の複数のスリット16が形成されている。また、別の観点から見ると、この磁性膜14には、コイル13の延在領域をその巻回方向に沿って分割してなる4つの領域(開口15の上下左右に位置する4つの領域)のうちの互いに対向する一対の領域(ここでは、開口15の左右に位置する2つの領域)にのみ、一方向(Y軸方向)に延びる複数のスリット16が形成されている。これらスリット16の幅(スリット幅S)は $5\mu\text{m} \sim 20\mu\text{m}$ 程度であり、各スリット16間の磁性膜14の幅(パターン幅L)は、後述するように $0.1\text{mm} \sim 5\text{mm}$ 程度である。なお、ここでは各スリット16は磁性膜14を貫通するものとなっているが、完全に貫通するものには限られず、短冊状(帯状)の凹面であってもよい。

30

【0036】

次に、図3～図7を参照して、薄膜インダクタ1の製造方法の一例について説明する。ここで図3～図7は、薄膜インダクタ1の製造方法の一例を表したものであり、図3および図5はX-Z断面構成を、図4, 図6および図7はX-Y平面構成を、それぞれ表している。

40

【0037】

まず、図3(A)に示したように、前述した材料よりなる基板11上に、絶縁膜12およびコイル13を形成する。絶縁膜12の形成は、例えばスパッタリング法により行い、コイル13の形成は、例えばめっき法により行う。また、図のようにコイル13が絶縁膜12中に埋設されるようにするため、例えば、絶縁膜12を分割形成しつつコイル13を形成する。

【0038】

続いて、図3(B)に示したように、絶縁膜12およびコイル13の上に、前述した材

50

料よりなる磁性膜 14 を一様に形成する。この磁性膜 14 の形成は、例えばスパッタリング法により行う。

【0039】

続いて、図 4 に示したように、磁性膜 14 の積層面 (X - Y 平面) 内で固定磁場 H1 を印加しつつ熱処理を行う。その際、固定磁場 H1 の印加方向は、コイル 13 が構成する第 1 および第 2 のコイルパターンの中の一方と略平行、すなわちこの場合 X 軸方向または Y 軸方向 (図 4 では X 軸方向となっている) となるようにする。また、固定磁場 H1 の大きさは例えば  $300 \times 10^3 / 4$  [A/m] (= 3000 e) 程度とし、熱処理温度は例えば 330 程度とし、熱処理時間は例えば 1 時間程度とする。すると図 5 に示したように、固定磁場 H1 の印加方向 (X 軸方向) に沿って磁化容易軸 Me が、印加方向と直交する方向 (Y 軸方向) に沿って磁化困難軸 Mh がそれぞれ生じ、磁性膜 14 が一軸異方性を示すようになる。

10

【0040】

続いて、図 6 (A) に示したように、フォトリソ法により、磁性膜 14 に開口 15 およびスリット 16 を形成するためのフォトリソパターン 2 を形成する。このフォトリソパターン 2 の形成領域は、開口 15 およびスリット 16 の形成領域に対応したものであり、前述のように、磁性膜 14 の中央部分を開口 15 の形成領域とすると共に、磁化容易軸 Me とコイル 14 とが略直交する領域、すなわちコイル 14 のうちの Y 軸方向に延在する第 2 のコイルパターンに対応する領域をスリット 16 の形成領域とし、磁化容易軸 Me と略直交する方向、すなわち Y 軸方向 (磁化困難軸 Mh 方向) に沿って短冊状 (帯状) の複数のスリット 16 が形成されるようにする。

20

【0041】

続いて、図 6 (B) に示したように、所定のエッチング材料を用いて磁性膜 14 のエッチングを行い、開口 15 およびスリット 16 を形成する。

【0042】

最後に、所定のレジスト除去材料を用いてフォトリソパターン 2 を除去することにより、図 1 および図 2 に示したような薄膜インダクタ 1 が製造される。

【0043】

なお、例えば図 7 に示したように、この後に磁性膜 14 の積層面 (X - Y 平面) 内で回転磁場 H2 を印加しつつ熱処理を行うようにするのが望ましい。磁性膜 14 上の応力が緩和されると共に磁気異方性が低減するため、磁化困難軸 Mh 方向の透磁率  $\mu_h$  をより高めることができ、薄膜インダクタ 1 のインダクタンスをより大きくすることができるからである。なお、回転磁場 H2 の大きさは例えば  $300 \times 10^3 / 4$  [A/m] (= 3000 e) 程度とし、回転磁場 H2 の回転数は例えば 90 [rpm] 程度とし、熱処理温度は例えば 330 程度とし、熱処理時間は例えば 1 時間程度とする。

30

【0044】

また、上記した薄膜インダクタ 1 の製造方法では、固定磁場 H1 を印加しつつ熱処理を行い、磁化容易軸 Me および磁化困難軸 Mh を形成した後にスリット 16 を形成するようにしているが、逆にスリット 16 (および開口 15) を形成した後に、図 4 に示したように固定磁場 H1 を印加しつつ熱処理を行い、磁化容易軸 Me および磁化困難軸 Mh を形成するようにしてもよい。具体的には、磁性膜 14 の積層面内においてコイル 13 の一部分、すなわち第 1 および第 2 のコイルパターンの中の一方と略平行となるようにスリット 16 を形成し、磁性膜 14 の積層面 (X - Y 平面) 内でこのスリット 16 と直交する方向に固定磁場 H1 を印加しつつ熱処理を行うようにする。このように製造した場合にも、上記の場合と同様の薄膜インダクタ 1 を製造することができる。

40

【0045】

さらに、上記した薄膜インダクタ 1 の製造方法では、磁性膜 14 を形成した後に固定磁場 H1 を印加しつつ熱処理を行い、磁化容易軸 Me および磁化困難軸 Mh を形成するようにしているが、例えば DC マグネトロンスパッタリング法を用いて固定磁場 H1 を印加しつつ磁性膜 14 を形成することにより、磁化容易軸 Me および磁化困難軸 Mh を形成する

50

ようにしてもよい。このように製造した場合にも、上記の場合と同様の薄膜インダクタ 1 を製造することができる。

#### 【0046】

次に、図 8 ～ 図 1 9 を参照して、このようにして形成された薄膜インダクタ 1 の磁気特性について詳細に説明する。ここで、図 8 ～ 図 1 0 は、パターン幅  $L$  を 6 mm から 0 . 0 2 mm まで変化させた場合における透磁率  $\mu$  の周波数依存性の一例を、図 1 1 は透磁率  $\mu$  のパターン幅  $L$  依存性の一例を、図 1 2 は磁化曲線（印加磁場  $H$  と磁化  $M$  との関係）の一例を、図 1 3 は透磁率  $\mu$  と共鳴周波数  $f_r$  との関係の一例を、それぞれ表している。また、図 1 4 ～ 図 1 7 は、それぞれパターン幅  $L = 0 . 5 \text{ mm}$  ,  $0 . 2 \text{ mm}$  ,  $0 . 0 5 \text{ mm}$  ,  $0 . 0 2 \text{ mm}$  の場合における磁性膜 1 4 の平面形態の一例を拡大して示す磁性コロイドを用いたピクチャー法による顕微鏡像であり、図 1 8 は顕微鏡写真に示される磁区構造の詳細を模式的に表したものであり、図 1 9 は後述する  $90^\circ$  ドメインの占有率とパターン幅  $L$  との関係の一例を表したものである。なお、各図におけるパターン幅  $L = 6 \text{ mm}$  の場合は、スリット 1 6 が形成されていない従来の場合に対応し、比較例として挙げたものである。

10

#### 【0047】

なお、各実施例における薄膜インダクタ 1 の製造条件としては、以下の通りである。まず、磁性膜 1 4 は DC マグネトロンスパッタリング法を用いて固定磁場  $H_1$  を印加しつつ形成しており、ターゲットは  $\text{CoZrTa}$  を用いている。また、スリット 1 6 を形成する際に、フォトリソパターン 2 の形成には半導体用ポジレジストを使用し、エッチング材料（エッチャント）としては、塩化鉄（ $\text{FeCl}_3$ ）： $\text{H}_2\text{O}$ ：フッ化水素（ $\text{HF}$ ）＝ 1 ： 2 ： 0 . 2 のものを使用し、レジスト除去剤としてはアセトンを使用している。また、製造した薄膜インダクタ 1 の評価にはインピーダンスアナライザを使用し、測定方法としてはフェライトヨーク法を用いている。

20

#### 【0048】

まず、図 8 ～ 図 1 0 に示した透磁率  $\mu$  の周波数依存性によれば、固定磁場  $H_1$  の印加方向の垂直方向（磁化困難軸  $M_h$  方向）の透磁率  $\mu_h$  は、パターン幅  $L = 6 \text{ mm} \sim 0 . 1 \text{ mm}$  までほとんど変化しない一方、固定磁場  $H_1$  の印加方向の水平方向（磁化容易軸  $M_e$  方向）の透磁率  $\mu_e$  は、パターン幅  $L$  の値が減少するにつれて（ $L = 6 \text{ mm}$  のスリット 1 6 が形成されていない比較例からスリット 1 6 が形成され、パターン幅  $L$  が細くなっていくにつれて）、透磁率  $\mu_e$  が低下すると共に高周波領域まである程度の値を維持するように（ $L = 0 . 2 \text{ mm}$  の場合で約  $10^7 \text{ Hz} = \text{約 } 10 \text{ MHz}$ ）なり、共鳴周波数  $f_r$  も増大していることが分かる。

30

#### 【0049】

これらの透磁率  $\mu$  とパターン幅  $L$  との関係をまとめると、以下の表 1 のようになる。なお、図 1 1（A）、（B）は、それぞれ、この表 1 に示した値をもとにグラフ化したものであり、図 1 1（A）は周波数  $f = 1 \text{ kHz}$  の場合のものを、図 1 1（B）は周波数  $f = 1 \text{ MHz}$  の場合のものを、それぞれ表している。

#### 【0050】

【表 1】

パターン幅 L(mm)	透磁率 $\mu$			
	f=1kHz		f=1MHz	
	垂直方向	水平方向	垂直方向	水平方向
0.02	146	2	268	13
0.05	80	132	53	88
0.10	759	173	733	188
0.20	698	412	741	516
0.50	808	1869	839	1648
1.00	859	5291	824	1076
2.00	706	9360	761	1007
5.00	925	12987	921	237
6.00 (スリットなし:比較例)	1082	11336	1104	195

## 【0051】

表1および図11(A), (B)によれば、まず垂直方向の透磁率 $\mu_h$ は、周波数 $f = 1\text{kHz}$ ,  $1\text{MHz}$ の場合とも、パターン幅 $L$ によらず値がほとんど変化していないことが分かる。また、水平方向の透磁率 $\mu_e$ は、比較的低周波領域の周波数 $f = 1\text{kHz}$ の場合(図11(A))ではパターン幅 $L$ の値が小さくなるのにつれて単調減少している一方、高周波領域の周波数 $f = 1\text{MHz}$ の場合(図11(B))では、比較例( $L = 6\text{mm}$ )と比べてパターン幅 $L$ の値が小さくなるのにつれていったん増加し、 $L = 0.5\text{mm}$ 付近にピーク値を持っていることが分かる。よって、このような高周波領域における透磁率 $\mu$ を増加させるためには、スリット16を形成すると共に、図11(B)から分かるように、複数のスリット間のパターン幅 $L$ が $0.1\text{mm}$ 以上かつ $0.5\text{mm}$ 以下程度であるのが望ましい。また、透磁率 $\mu$ をより増加させるためには、パターン幅 $L$ が $0.3\text{mm}$ 以上かつ $2\text{mm}$ 以下であるのがより好ましく、 $0.3\text{mm}$ 以上かつ $1\text{mm}$ 以下であるのがさらに好ましい。

## 【0052】

ここで、図12(A), (B)を参照して、スリット16の形成と高周波領域での透磁率 $\mu$ の増加との関連性について考察すると、以下のようなことが考えられる。なお、図12(A)はスリット16が形成されていない比較例( $L = 6\text{mm}$ )における磁化曲線を、図12(B)はスリット16が形成されている場合( $L = 0.5\text{mm}$ )の磁化曲線を、それぞれ表している。

## 【0053】

まず、磁性膜の磁化困難軸 $M_h$ 方向においては、異方性磁界 $H_k$ と透磁率 $\mu$ または共鳴周波数 $f_r$ との間に、以下の(1)式および(2)式が成り立つことが知られているが、これら(1)式および(2)式は、磁化容易軸 $M_e$ 方向についても同様に成り立つものと考えられる。なお、式中において、 $B_s$ は飽和磁束を、 $M_s$ は飽和磁化を、 $\mu_0$ は真空中の透磁率を、 $\gamma$ は磁気回転比を、それぞれ表している。

## 【0054】



【数 1】

$$\mu = \frac{B_s}{H_k} \quad \text{-----} \quad (1)$$

$$f_r = \frac{\gamma}{2\pi} \sqrt{\frac{M_s H_k}{\mu_0}} \quad \text{-----} \quad (2)$$

10

【0055】

ここで磁化容易軸  $M_e$  方向について着目した場合、図 12 (B) に示した磁化曲線では、反磁場  $H_d$  の影響により、図 12 (A) に示した比較例の磁化曲線と比べてその傾きが緩やかになっており、異方性磁界  $H_k$  の値が増大 ( $H_k$  が ( $H_k + H_d$ ) に増大) している。よって、(1) 式および (2) 式により、透磁率  $\mu$  の値自体は減少するが共鳴周波数  $f_r$  は増加するため、高周波領域まで透磁率  $\mu$  がある程度の値を維持できるようになることが分かる。このようにして、反磁場  $H_d$  の影響により異方性磁界  $H_k$  の値が増加するた

20

【0056】

また、表 2 は、パターン幅  $L$  を 6 mm から 0.02 mm まで変化させた場合における共鳴周波数  $f_r$  と水平方向の透磁率  $\mu_e$  との関係性をまとめたものである。なお、図 13 は、この表 2 に示した値をもとにグラフ化したものである。

【0057】

【表 2】

パターン幅 $L$ (mm)	共鳴周波数 $f_r$ [Hz]	水平方向の透磁率 $\mu_e$ (kHz)
0.02	—	2
0.05	—	132
0.10	$5.01 \times 10^7$	173
0.20	$9.55 \times 10^6$	412
0.50	$2.75 \times 10^6$	1869
1.00	$1.20 \times 10^6$	5291
2.00	$1.51 \times 10^5$	9360
5.00	$5.50 \times 10^3$	12987
6.00 (スリットなし: 比較例)	$6.31 \times 10^3$	11336

30

40

【0058】

これら表 2 および図 13 から、スリット 16 を形成すると共にパターン幅  $L$  の値が小

50

さくなるのにつれて、水平方向の透磁率  $\mu_e$  の値自体は減少するが、共鳴周波数  $f_r$  は増加していることが分かる。

【 0 0 5 9 】

次に、図 1 4 ~ 図 1 7 に示した磁性膜 1 4 の顕微鏡写真によれば、各スリット 1 6 の幅方向 ( X 軸方向 ) に磁化された複数の磁区が、磁性膜 1 4 のうちのスリット 1 6 に挟まれた帯状領域の長手方向 ( Y 磁区方向 ) に沿って並んでいることが分かる。また、図 1 4 から図 1 7 までパターン幅  $L$  が狭くなっていても、横長、すなわち上記帯状領域の幅方向 ( X 軸方向 ) の磁区構造は横長のままであり、磁化容易軸  $M_e$  の  $90^\circ$  回転といった現象は生じていないことが分かる。ただし、パターン幅  $L$  が狭くなるのにつれて磁区のアスペクト比 ( 磁区の長軸方向の長さに対する短軸方向の長さの比 ) が変化し、徐々に正方形に近づく方向に変化 ( アスペクト比が増加 ) していることが分かる。なお、この各磁区のアスペクト比は、下記の  $90^\circ$  ドメインの占有率との関係により、 $0.3$  以下であることが望ましい。上述したような反磁場  $H_d$  の影響によって、透磁率  $\mu$  をより高周波側まで維持できるようになるからである。

【 0 0 6 0 】

さらに、図 1 4 (  $L = 0.5 \text{ mm}$  ) 中の符号  $P_1$  ,  $P_2$  で示したようなスパイク構造が図 1 5 ~ 図 1 7 (  $L = 0.2$  ,  $0.05$  ,  $0.02 \text{ mm}$  ) では消失し、変わりに符号  $P_3$  ~  $P_5$  で示したようなスリット 1 6 の長手方向 ( Y 軸方向 ) を磁化方向とする三角磁区 (  $90^\circ$  ドメイン ) がこの長手方向に沿って延在するようにして形成され、幅方向 ( X 軸方向 ) を磁化方向とする磁区の両端に位置するようになっていることが分かる。

【 0 0 6 1 】

図 1 8 は、これらの磁区構造を模式的に表したものであり、スリット 1 6 間に存在するパターン幅  $L$  の磁性膜 1 4 に相当するものである。ここでは、上述したように、複数の磁区 1 4 D が形成され、長手方向 ( Y 軸方向、磁化困難軸  $M_h$  方向 ) に沿って延在している。また、各磁区 1 4 D は、上述した幅方向 ( X 磁区方向、磁化容易軸  $M_e$  方向 ) を磁化方向とする一対の磁区 1 4 D e と、長手方向を磁化方向とすると共に磁区 1 4 D e の両端に位置する一対の磁区 (  $90^\circ$  ドメイン ) 1 4 D h とから構成されている。また、磁区 1 4 D e , 1 4 D h による磁化方向は閉ループを構成し、隣り合う磁区 1 4 D 同士では閉ループの方向が互いに逆向きとなるようになっている。

【 0 0 6 2 】

また、図 1 9 に示したパターン幅  $L$  と磁区 1 4 における  $90^\circ$  ドメインの占有率との関係によれば、パターン幅  $L$  が  $0.5 \text{ mm}$  以上では、 $90^\circ$  ドメインの占有率はほぼ  $0\%$  であり、磁区 1 4 中にほとんど存在していないが、パターン幅  $L$  が  $0.5 \text{ mm}$  未満では、 $90^\circ$  ドメインの占有率が単調増加していることが分かる。また、図 1 1 ( B ) に示したように、水平方向 ( 磁化容易軸  $M_e$  方向 ) の透磁率  $\mu_e$  は、パターン幅  $L = 0.5 \text{ mm}$  付近でピーク値となることから、 $90^\circ$  ドメインの占有率が増加すると、パターン幅  $L$  が幻想するにつれて増加傾向にあった水平方向の透磁率  $\mu_e$  が、減少する傾向にあることも分かる。よってこれらの結果から、高周波領域での透磁率  $\mu$  をより効果的に向上させるためには、 $90^\circ$  ドメインの占有率が  $12\%$  以下であるのが望ましい。

【 0 0 6 3 】

以上のように、本実施の形態では、磁性膜 1 4 のうち複数のスリット 1 6 に挟まれた帯状領域において、この帯状領域の幅方向 ( X 磁区方向、磁化容易軸  $M_e$  方向 ) を長手方向とする磁区 1 4 D e を、帯状領域の長手方向 ( Y 軸方向 ) に沿って並んでいるようにしたので、磁化容易軸  $M_e$  とコイル 1 3 とが互いに略平行となっている場合および互いに略直交となっている場合のいずれにおいても、高周波領域である程度の透磁率を維持することができる。よって、高周波領域での透磁率をより効果的に向上させることが可能となる。

【 0 0 6 4 】

特に、本実施の形態では、磁性膜 1 4 の磁化容易軸  $M_e$  とコイル 1 3 とが略直交する領域のみに対応してスリット 1 6 を形成すると共にこのスリット 1 6 を磁化容易軸  $M_e$  と直

10

20

30

40

50

交する方向（磁化困難軸  $M_h$  方向）に延在させるようにしたので、磁化容易軸  $M_e$  とコイル 13 とが略直交する領域（スリット 16 が延在する第 2 のコイルパターンに対応する領域）の高周波での透磁率を選択的に増加させることができる。よって、磁化容易軸  $M_e$  とコイル 13 とが略平行な領域（第 1 のコイルパターンに対応する領域）だけでなく略直交する領域においても、高周波領域である程度の透磁率を維持することができ、高周波領域での透磁率をさらに効果的に向上させることが可能となる。

【0065】

また、上記帯状領域をコイル 13 の第 2 のコイルパターンと重なるように形成したので、この帯状領域における磁性膜 14 と第 2 のコイルパターンとの距離を短くし、透磁率をさらに向上させることが可能となる。

10

【0066】

また、上記帯状領域において、磁区 14 D h（ $90^\circ$  ドメイン）を帯状領域の幅方向（ $X$  軸方向）の両端に対配置させつつ帯状領域の長手方向（ $Y$  軸方向）に沿って並んでいるようにしたので、これらの一对の磁区 14 D h に挟まれた磁区 14 D e における反磁場  $H_d$  に起因した共鳴周波数  $f_r$  の増加作用を効果的に促進させることができる。よって、高周波領域での透磁率をさらに効果的に向上させることが可能となる。

【0067】

さらに、本実施の形態の薄膜磁気デバイスとしての薄膜インダクタ 1 の製造方法によれば、特に製造工程が複雑化することはないので、上記のように高周波領域において高い透磁率を示す薄膜磁気デバイスを簡易に得ることが可能となる。

20

【0068】

なお、本実施の形態では、磁化容易軸  $M_e$  とコイル 13 とが略直交する領域だけに対応してスリット 16 が形成されている場合で説明したが、これに加えて他の領域、例えば図 20 に示した薄膜インダクタ 1 A のように、磁性膜 14 A 上の開口 15 からの対角線上などにも、スリット 16 を形成するようにしてもよい。すなわち、積層面内の一方向（この場合、磁化容易軸  $M_e$  方向、 $X$  軸方向）に沿って複数の帯状磁性膜 14 A が形成されているようにしてもよい。このように構成した場合も、本実施の形態と同様の効果を得ることができる。

【0069】

以上、実施の形態を挙げて本発明を説明したが、本発明はこの実施の形態に限定されるものではなく、種々の変形が可能である。

30

【0070】

例えば、上記実施の形態では、磁化容易軸  $M_e$  とコイル 13 とが略直交する領域だけに対応してスリット 16 を形成していたが、これに加えて他の領域、例えば図 20 に示した薄膜インダクタ 1 A のように、磁性膜 14 A 上の開口 15 からの対角線上などにも、スリット 16 を形成するようにしてもよい。

【0071】

また、上記実施の形態では、コイル 13 が互いに略直交する第 1 および第 2 のコイルパターンを有する矩形状のスパイラルコイルから構成されている場合で説明したが、薄膜コイルであるコイル 13 の形状は、これには限られない。例えば、図 21 (A) ~ (C) にそれぞれ示した薄膜インダクタ 1 C ~ 1 E のように、磁性膜 14 C ~ 14 E 等が円形状（楕円形でもよい）であって例えばコイル 13 も円形状のスパイラルの場合であってよい。この場合、コイル 13 の形状によらず、磁化容易軸  $M_e$  と直交する方向（磁化困難軸  $M_h$  方向）に沿ってスリット 16 を形成するようにすればよい。また、例えば図 22 に示した薄膜インダクタ 1 F のように、コイル 13 が正形状ではなく長形状のスパイラルコイルであってもよい。

40

【0072】

また、例えば図 23 に示した薄膜インダクタ 1 G のように、コイルが矩形状のミアンダコイル 13 G であってもよく、また、例えば図 24 に示した薄膜インダクタ 1 H のように、コイルがソレノイドコイル 13 H であってもよい。

50

## 【 0 0 7 3 】

また、上記実施の形態では、薄膜磁気デバイスの一例として薄膜インダクタを挙げて説明したが、本発明はこの他にも薄膜トランスなどに適用することも可能である。すなわち、上記実施の形態で説明した磁性膜と所定の電極とを備えているのであれば、薄膜インダクタには限られず、広く薄膜磁気デバイスとして適用することが可能である。

## 【 0 0 7 4 】

さらに、上記実施の形態において説明した各層の材料、成膜方法および成膜条件などは限定されるものではなく、他の材料および厚みとしてもよく、また他の成膜方法および成膜条件としてもよい。

## 【図面の簡単な説明】

10

## 【 0 0 7 5 】

【図 1】本発明の一実施の形態に係る薄膜磁気デバイスの平面構成を表す平面図である。

【図 2】図 1 に示した I I - I I 線に沿った薄膜磁気デバイスの断面構成を表す断面図である。

【図 3】図 1 に示した薄膜磁気デバイスの製造方法を説明するための断面図である。

【図 4】図 3 に続く薄膜磁気デバイスの製造方法を説明するための平面図である。

【図 5】図 4 に続く薄膜磁気デバイスの製造方法を説明するための平面図である。

【図 6】図 5 に続く薄膜磁気デバイスの製造方法を説明するための断面図である。

【図 7】図 6 に続く薄膜磁気デバイスの製造方法を説明するための平面図である。

【図 8】図 1 に示した薄膜磁気デバイスにおける透磁率の周波数依存性の一例を表す特性図である。

20

【図 9】図 1 に示した薄膜磁気デバイスにおける透磁率の周波数依存性の一例を表す特性図である。

【図 10】図 1 に示した薄膜磁気デバイスにおける透磁率の周波数依存性の一例を表す特性図である。

【図 11】図 1 に示した薄膜磁気デバイスにおける透磁率のパターン幅依存性の一例を表す特性図である。

【図 12】図 1 に示した薄膜磁気デバイスにおける磁化曲線の一例を比較例のものと共に表す特性図である。

【図 13】図 1 に示した薄膜磁気デバイスにおける透磁率と共鳴周波数との関係の一例を表す特性図である。

30

【図 14】図 1 に示した磁性膜の平面形態の一例を拡大して示す顕微鏡写真である。

【図 15】図 1 に示した磁性膜の平面形態の一例を拡大して示す顕微鏡写真である。

【図 16】図 1 に示した磁性膜の平面形態の一例を拡大して示す顕微鏡写真である。

【図 17】図 1 に示した磁性膜の平面形態の一例を拡大して示す顕微鏡写真である。

【図 18】図 14 ~ 図 17 に示した磁区構造の詳細を説明するための模式図である。

【図 19】図 1 に示した薄膜磁気デバイスにおける 90°ドメインの占有率とパターン幅との関係の一例を表す特性図である。

【図 20】本発明の変形例に係る薄膜磁気デバイスの平面構成を表す平面図である。

【図 21】本発明の変形例に係る薄膜磁気デバイスの平面構成を表す平面図である。

40

【図 22】本発明の変形例に係る薄膜磁気デバイスの平面構成を表す平面図である。

【図 23】本発明の変形例に係る薄膜磁気デバイスの平面構成を表す平面図である。

【図 24】本発明の変形例に係る薄膜磁気デバイスの平面構成を表す平面図である。

【図 25】従来の薄膜磁気デバイスの構成を表す平面図および断面図である。

## 【符号の説明】

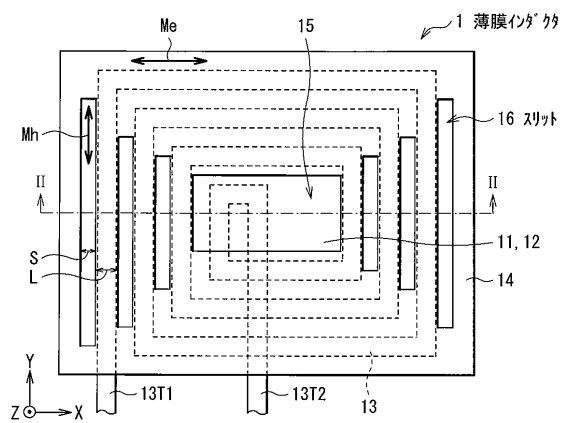
## 【 0 0 7 6 】

1, 1A, 1C ~ 1H... 薄膜インダクタ、11... 基板、12... 絶縁膜、13, 13F ~ 13H... コイル、13T1, 13T2... 端子、14, 14A, 14C ~ 14H... 磁性膜、14D, 14Dh... 磁区、14Dh... 磁区 (90°ドメイン)、15... 開口、16, 17... スリット、2... フォトリソパターン、Me... 磁化容易軸、Mh... 磁化困難軸、L...

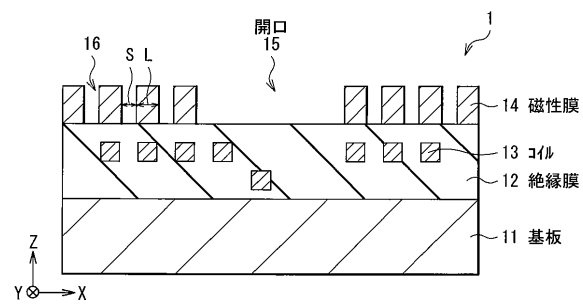
50

パターン幅、S ... スリット幅、H 1 ... 固定磁場、H 2 ... 回転磁場、m ... 磁化方向。

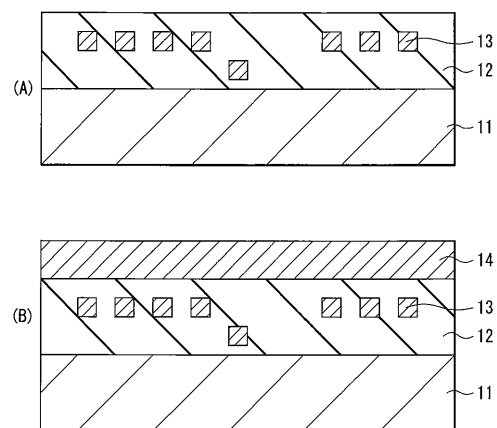
【図 1】



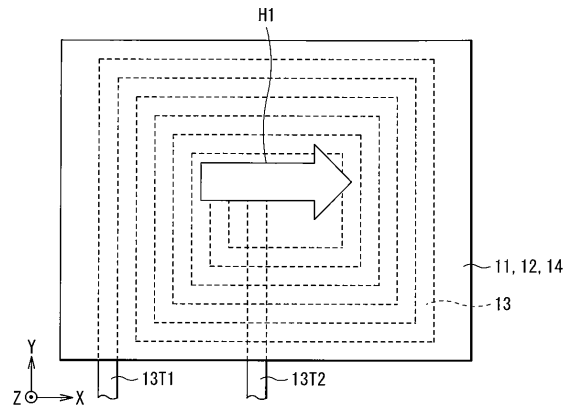
【図 2】



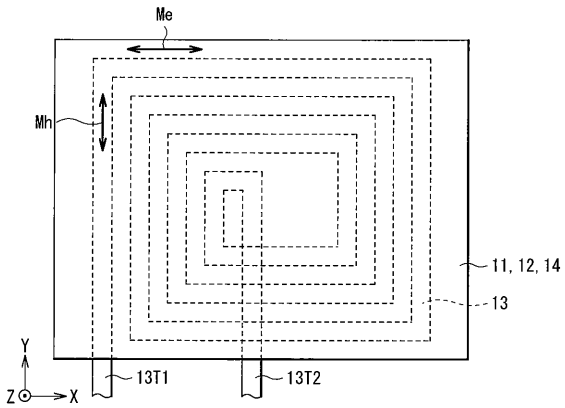
【図 3】



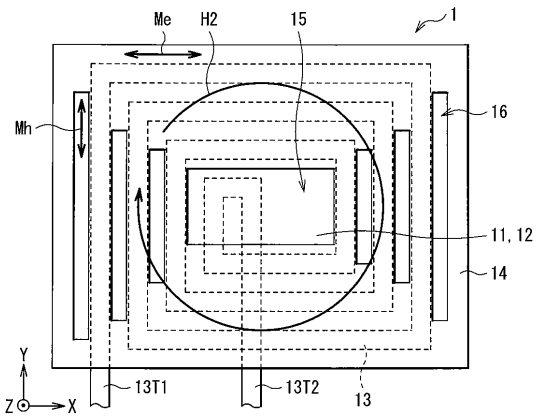
【図4】



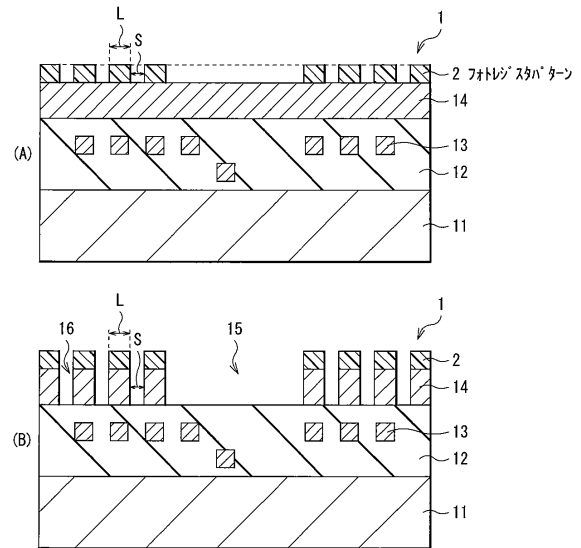
【図5】



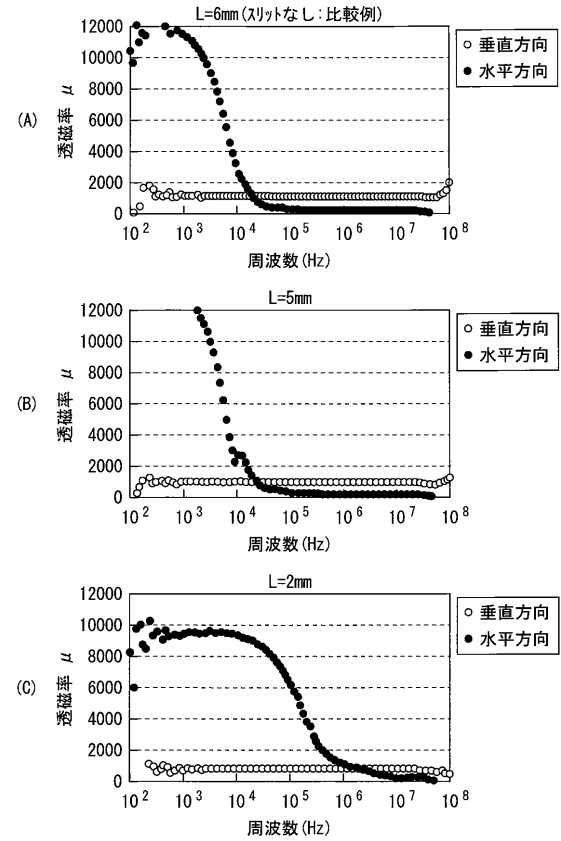
【図7】



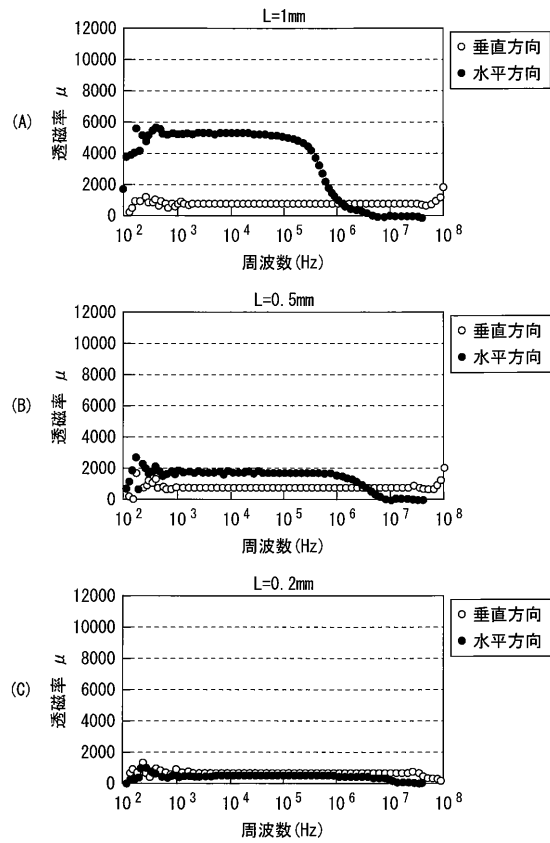
【図6】



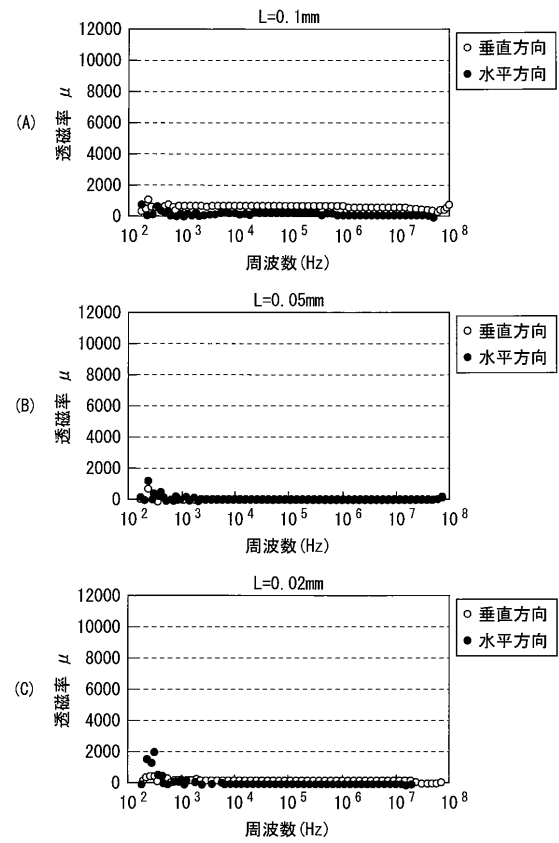
【図8】



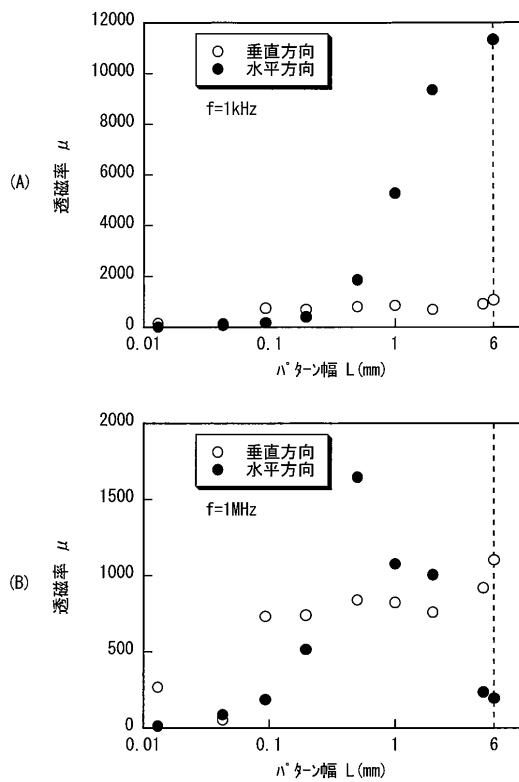
【図 9】



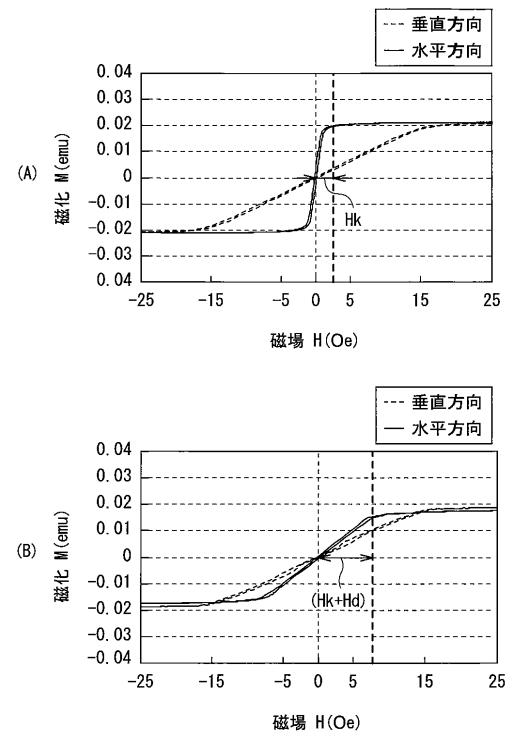
【図 10】



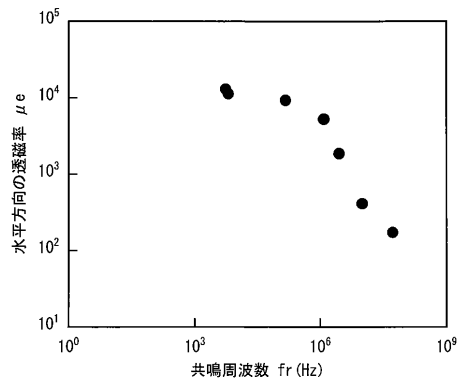
【図 11】



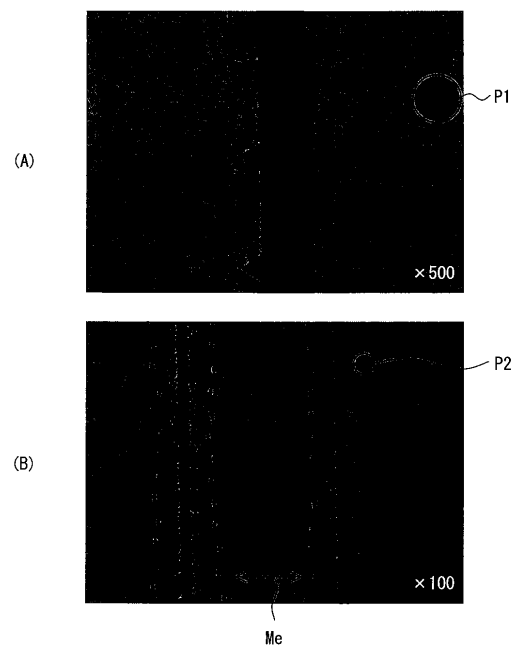
【図 12】



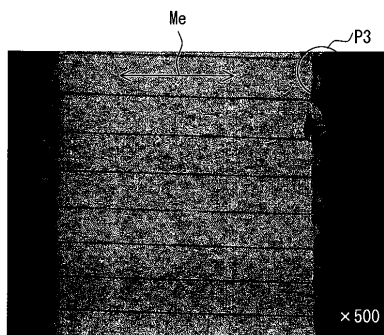
【図 13】



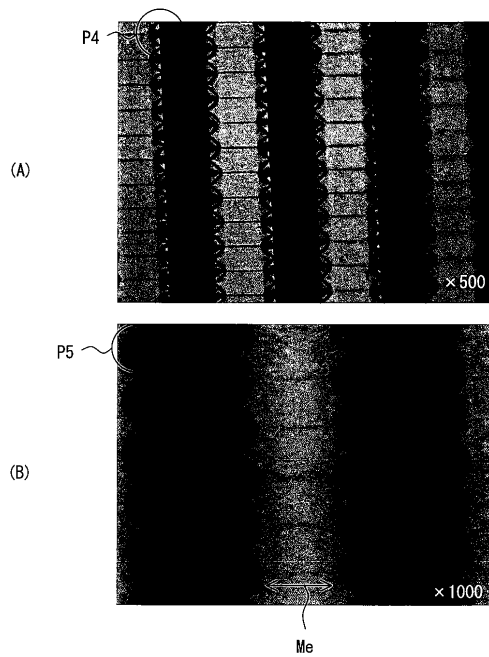
【図 14】



【図 15】

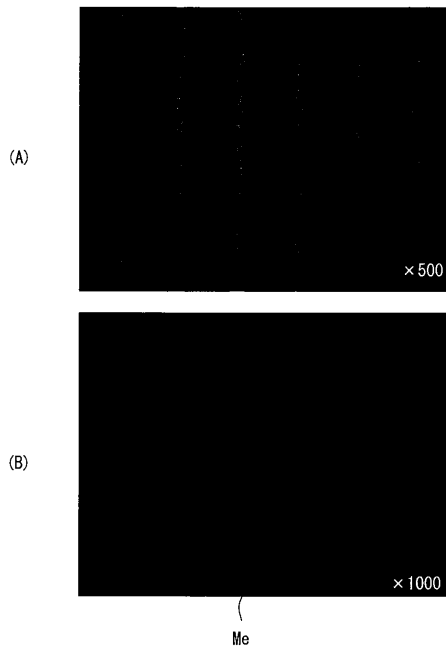


【図 16】

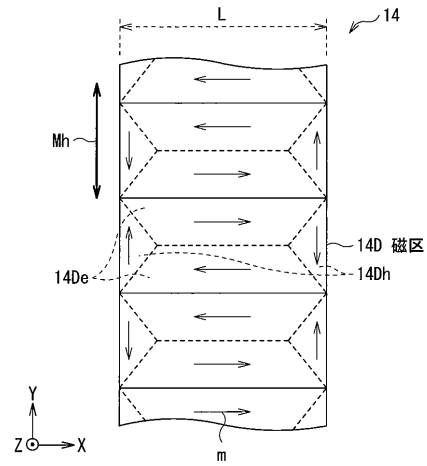




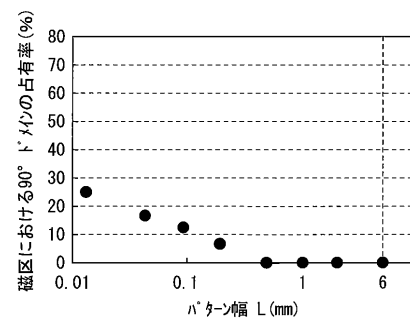
【図 17】



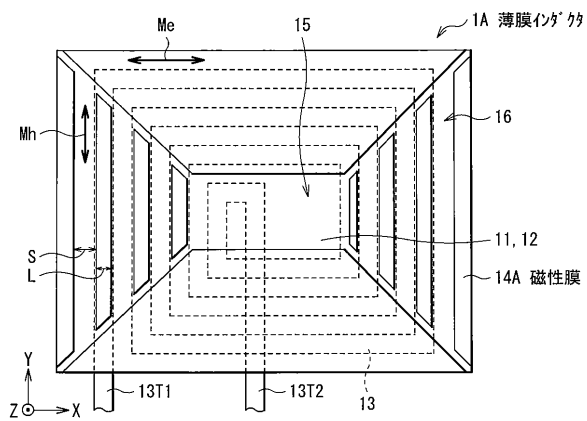
【図 18】



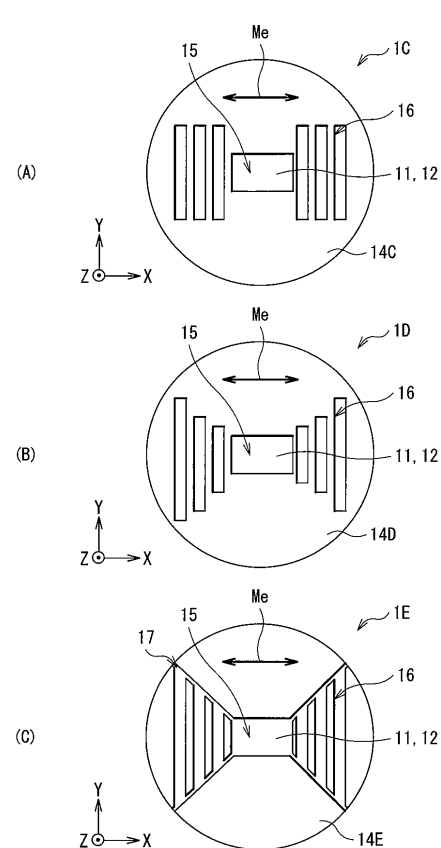
【図 19】



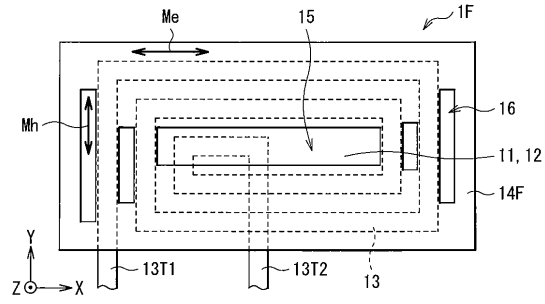
【図 20】



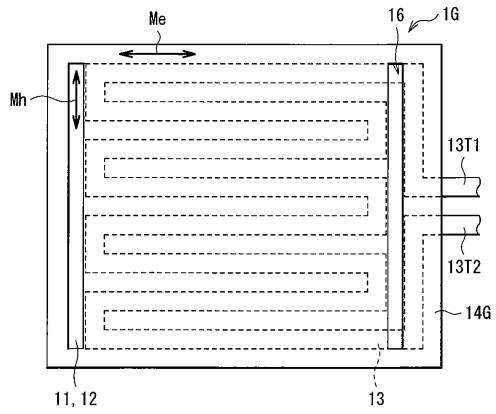
【図 21】



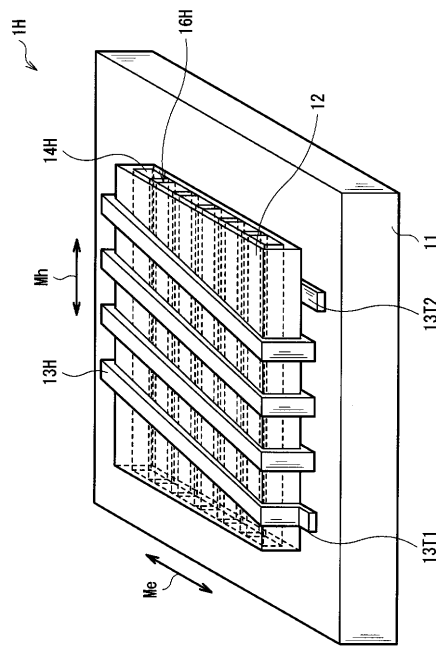
【図 2 2】



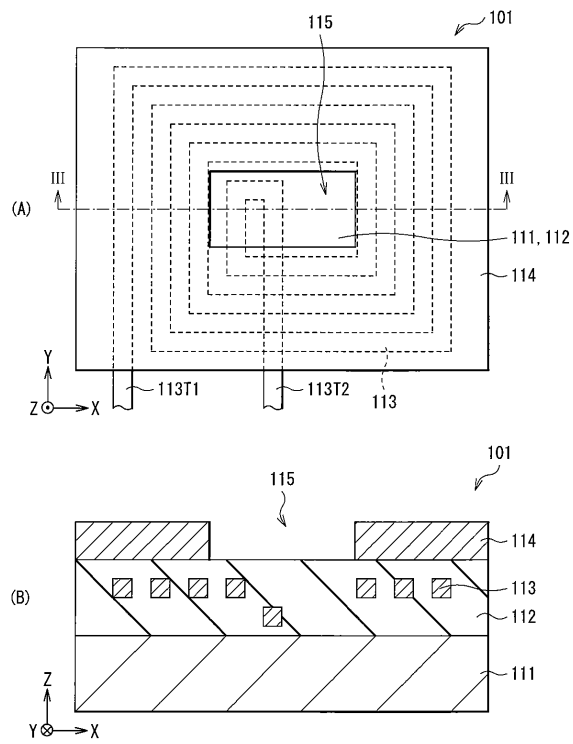
【図 2 3】



【図 2 4】



【図 2 5】



---

フロントページの続き

(56)参考文献 特開平 1 1 - 3 5 4 3 2 3 ( J P , A )  
特開平 0 4 - 3 6 3 0 0 6 ( J P , A )  
特開平 0 6 - 1 2 0 0 2 7 ( J P , A )  
特開平 0 8 - 2 2 7 8 1 3 ( J P , A )  
特開平 0 6 - 3 4 6 2 0 2 ( J P , A )  
特開平 0 7 - 2 4 0 3 1 5 ( J P , A )  
特開 2 0 0 0 - 2 6 9 0 3 5 ( J P , A )  
特開平 0 6 - 3 3 3 7 7 0 ( J P , A )  
特開 2 0 0 0 - 0 5 5 9 9 5 ( J P , A )  
特開平 0 9 - 2 3 7 7 1 5 ( J P , A )

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

H 0 1 F    1 0 / 0 0 - 1 0 / 3 2  
          1 7 / 0 0 - 2 1 / 1 2  
          2 7 / 0 0 - 2 7 / 0 8  
          2 7 / 2 3 - 2 7 / 4 2  
          3 0 / 0 0  
          3 8 / 4 2  
          4 1 / 1 4 - 4 1 / 3 4