

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3971697号
(P3971697)

(45) 発行日 平成19年9月5日(2007.9.5)

(24) 登録日 平成19年6月15日(2007.6.15)

(51) Int. Cl.	F I	
HO 1 F 10/16 (2006.01)	HO 1 F 10/16	
HO 1 F 10/13 (2006.01)	HO 1 F 10/13	
HO 1 F 17/04 (2006.01)	HO 1 F 17/04	F
HO 1 L 27/22 (2006.01)	HO 1 L 27/22	

請求項の数 11 (全 30 頁)

(21) 出願番号	特願2002-366192 (P2002-366192)	(73) 特許権者	000003067
(22) 出願日	平成14年12月18日 (2002.12.18)		T D K株式会社
(65) 公開番号	特開2004-6619 (P2004-6619A)		東京都中央区日本橋1丁目13番1号
(43) 公開日	平成16年1月8日 (2004.1.8)	(74) 代理人	100100077
審査請求日	平成16年4月23日 (2004.4.23)		弁理士 大場 充
(31) 優先権主張番号	特願2002-7059 (P2002-7059)	(72) 発明者	崔 京九
(32) 優先日	平成14年1月16日 (2002.1.16)		東京都中央区日本橋一丁目13番1号 テ
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		イーディーケイ株式会社内
(31) 優先権主張番号	特願2002-117079 (P2002-117079)	(72) 発明者	山崎 陽太郎
(32) 優先日	平成14年4月19日 (2002.4.19)		神奈川県横浜市緑区長津田町4259
(33) 優先権主張国	日本国(JP)	(72) 発明者	村瀬 琢
			東京都中央区日本橋一丁目13番1号 テ
			イーディーケイ株式会社内
特許法第30条第1項適用 2002年9月17日、社 団法人日本応用磁気学会「第26回日本応用磁気学会学 術講演概要集」"CoZrNb/Fe-C積層膜の高周 波特性"第465頁に発表		審査官	近藤 聡
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 高周波用磁性薄膜及び磁気素子

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

T - L 組成物 (ただし、T = Fe または FeCo、L = C および / または B) からなる第1の層と、

前記第1の層のいずれかの面側に配置されたCo系非結晶質合金からなる第2の層と、
を含み、

前記第1の層の厚さをT1、前記第2の層の厚さをT2とした場合に、T1が3 ~ 20 nmの範囲にあり、かつT1 / T2が0.15 ~ 3.50の範囲にあることを特徴とする高周波用磁性薄膜。

【請求項2】

T - L 組成物 (ただし、T = Fe または FeCo、L = C および / または B) からなる第1の層と、

前記第1の層のいずれかの面側に配置されたCo系非結晶質合金からなる第2の層と、
を含み、

前記第1の層の厚さをT1、前記第2の層の厚さをT2とした場合に、T1が0.5 ~ 3.0 nmの範囲にあり、かつT1 / T2が0.8 ~ 3.0の範囲にあることを特徴とする高周波用磁性薄膜。

【請求項3】

前記第1の層は、前記LとしてさらにNを含むことを特徴とする請求項1又は2に記載の高周波用磁性薄膜。

10

20

【請求項 4】

複数の前記第 1 の層と複数の前記第 2 の層とが積層されて多層膜構造をなすことを特徴とする請求項 1 又は 2に記載の高周波用磁性薄膜。

【請求項 5】

前記第 2 の層は、C o を主成分とし、B , C , S i , T i , V , C r , M n , F e , N i , Y , Z r , N b , M o , H f , T a , W から選択される少なくとも 1 種の添加元素を含むことを特徴とする請求項 1 ~ 4のいずれかに記載の高周波用磁性薄膜。

【請求項 6】

前記第 2 の層は、C o Z r , C o H f , C o N b , C o M o , C o Z r N b , C o Z r T a , C o F e Z r , C o F e N b , C o T i N b , C o Z r M o , C o F e B , C o Z r N b M o , C o Z r M o N i , C o F e Z r B , C o F e S i B , C o Z r C r M o から選択されることを特徴とする請求項 1 ~ 5のいずれかに記載の高周波用磁性薄膜。 10

【請求項 7】

前記第 1 の層は、その中に含有される L 元素の濃度が 2 ~ 2 0 a t %であることを特徴とする請求項 1 ~ 6のいずれかに記載の高周波用磁性薄膜。

【請求項 8】

前記第 1 の層は、アスペクト比が 1 . 4 以下の柱状構造または非晶質構造からなることを特徴とする請求項 1 ~ 7のいずれかに記載の高周波用磁性薄膜。

【請求項 9】

コイルを挟持するように対向配置された高周波用磁性薄膜を有する磁気素子であって、
前記高周波用磁性薄膜は、T - L 組成物（ただし、T = F e または F e C o、L = C および / または B）からなる第 1 の層と、前記第 1 の層のいずれかの面側に配置された C o 系非結晶質合金からなる第 2 の層とが交互に積層された多層膜であり、 20

前記第 1 の層の厚さを T 1、前記第 2 の層の厚さを T 2 とした場合に、T 1 が 3 ~ 2 0 n m の範囲にあり、かつ T 1 / T 2 が 0 . 1 5 ~ 3 . 5 0 の範囲にあることを特徴とする磁気素子。

【請求項 1 0】

コイルを挟持するように対向配置された高周波用磁性薄膜を有する磁気素子であって、
前記高周波用磁性薄膜は、T - L 組成物（ただし、T = F e または F e C o、L = C および / または B）からなる第 1 の層と、前記第 1 の層のいずれかの面側に配置された C o 系非結晶質合金からなる第 2 の層とが交互に積層された多層膜であり、 30

前記第 1 の層の厚さを T 1、前記第 2 の層の厚さを T 2 とした場合に、T 1 が 0 . 5 ~ 3 . 0 n m の範囲にあり、かつ T 1 / T 2 が 0 . 8 ~ 3 . 0 の範囲にあることを特徴とする磁気素子。

【請求項 1 1】

前記第 1 の層は、前記 L としてさらに N を含むことを特徴とする請求項 9 又は 1 0に記載の磁気素子。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は、高い飽和磁化を有するとともに、G H z の高周波帯域で高い透磁率および性能指数 Q を示す磁性薄膜に関し、特に、薄膜インダクタや薄膜トランスなどの高周波用平面型磁気素子、あるいはモノリシックマイクロ波集積回路（M M I C）に用いられる磁性薄膜およびインダクタに関する。 40

【0 0 0 2】

【従来の技術】

磁気素子の小型化、高性能化に伴い、高い飽和磁化を有し、かつ G H z の高周波数帯域における透磁率が高い磁性薄膜材料が求められている。

例えば、ワイヤレス送受信装置や携帯情報端末を中心に需要が高まっているモノリシックマイクロ波集積回路（M M I C）は、S i、G a A s、I n P などの半導体基板上に、ト 50

ランジスタなどの能動素子と、線路、抵抗、キャパシタ、インダクタなどの受動素子とを、一括的かつ一体的に作製して構成される高周波集積回路である。

【0003】

このようなMMICにおいては、受動素子、特にインダクタやキャパシタが能動素子に比べ、大きな面積を占めている。このような受動素子の大きな面積の占有は、結果として、高価な半導体基板の大量消費、すなわち、MMICのコストアップにつながる。従って、チップ面積を縮小し、MMICの製造コストを低減するために、受動素子が占める面積を縮小することが課題となっている。

【0004】

MMICのインダクタとしては平面型のスパイラルコイルが多く用いられている。そのスパイラルコイルの上下面、或いは片面に軟磁性薄膜を挿入し、インダクタンスを増加させる方法（換言すれば、小さな占有面積でも従来のインダクタンスが得られる方法）がすでに提案されている（例えば、J. Appl. Phys. 85, 7919 (1999)）。

10

【0005】

しかしながら、磁性材料をMMICのインダクタへ応用するためには、先ず、GHzの高周波数帯域における透磁率が高く、かつ損失が少ない薄膜磁性材料を開発することが求められている。さらには渦電流損失を減ずる為に比抵抗が大きいことも求められている。

【0006】

従来、高い飽和磁化を持つ磁性材料としてFeあるいはFeCoを主成分とする合金がよく知られている。ところが、Fe系またはFeCo系合金からなる磁性薄膜をスパッタなどの成膜技術により作製すると、その膜の飽和磁化は高いものの、保磁力が大きく、また、比抵抗が小さくなってしまい良好な高周波特性を得ることは困難であった。

20

【0007】

一方で、軟磁気特性が優れている材料として、Co系非結晶質合金が知られている。このCo系非結晶質合金は、Coを主成分としY, Ti, Zr, Hf, Nb, Taなどから選択される1種または2種以上の元素を含む非結晶質を主体とするものである。ところがゼロ磁歪組成のCo系非結晶質合金の磁性薄膜をスパッタなどの成膜技術により作製すると、その膜の透磁率は大きいものの、飽和磁化が11kG (1.1T)程度であり、Fe系に比べて小さい。さらに、100MHz程度の周波数およびこれを超えてから損失成分（透磁率の虚数部 μ'' ）が大きくなり、性能指数Q値が1以下となり、GHzの高周波帯域で使用する磁性材料としては好適とは言えない。

30

【0008】

このような適用困難な材料を用いてGHz帯のインダクタを実現させるために、磁性薄膜をマイクロワイヤ化させ、形状異方性エネルギーを増大させることにより、共鳴周波数を高周波化する試みも行われている（例えば、日本応用磁気学会誌、24, 879 (2000)）。しかしながら、この方法では工程が複雑になってしまうばかりか、さらに、磁性薄膜の実効透磁率が低下してしまうという問題がある。

【0009】

このような実情のもとに従来より、軟磁性薄膜の高周波特性を改良するために種々の提案がなされてきた。その改良の基本方針としては、渦電流損失を抑制させたり、あるいは共鳴周波数を上昇させることなどが挙げられる。渦電流損失を抑制させる具体的な方策としては、例えば、磁性層/絶縁層（高抵抗層）との積層による多層化（例えば、特開平7-249516号公報）や、金属-非金属（酸化物、フッ化物）のグラニューラー化（例えば、J. Appl. Phys. 79, 5130 (1996)）などが提案されている。しかしながら、これらの方法では、高抵抗の非磁性相が挿入されているために、飽和磁化が低下するという問題が生じる。また、金属-非金属のグラニューラー膜の場合は、透磁率が200以下であり、透磁率が低いという問題もある。

40

【0010】

一方、軟磁性層と高飽和磁化層を交互に積層した多層膜による高飽和磁化薄膜についての検討も行われている。すなわち、CoZr/Fe（日本応用磁気学会誌、16, 285 (1992)）

50

)、FeBN/FeN(特開平5-101930号公報)、FeCrB/Fe(J. Appl. Phys. 67, 5131 (1990))、Fe-Hf-C/Fe(日本応用磁気学会誌、15, 403 (1991))など様々な組み合わせの例が報告されている。これらのものはいずれも飽和磁化を高くすることには効果がある。しかしながら、これらのものはいずれも高周波帯域での透磁率が大きくならず、GHz周波数帯域への応用は期待できない。

【0011】

【特許文献1】

特開平7-249516号公報(第1頁)

【特許文献2】

特開平5-101930号公報(第1頁)

10

【非特許文献1】

J. Appl. Phys. 85, 7919 (1999)

【非特許文献2】

J. Appl. Phys. 79, 5130 (1996)

【非特許文献3】

J. Appl. Phys. 67, 5131 (1990)

【非特許文献4】

日本応用磁気学会誌、24, 879 (2000)

【非特許文献5】

日本応用磁気学会誌、16, 285 (1992)

20

【非特許文献6】

日本応用磁気学会誌、15, 403 (1991)

【0012】

【発明が解決しようとする課題】

このような実状のもとに本発明は創案されたものであり、その目的は、GHz帯域の高周波領域で、高い透磁率を有し、かつ高い飽和磁化を有する高周波用磁性薄膜を提供することにある。また、本発明は、そのような磁性薄膜を用いた磁気素子を提供することを目的とする。

【0013】

【課題を解決するための手段】

30

本発明の高周波用磁性薄膜は、数100MHz以上の周波数帯域、特に、1GHz以上のGHz周波数帯域で使用することができる。このような高周波帯域における透磁率(以下、単に「高周波透磁率」と称す)は、試料の様々な物性と複雑に関係する物性である。この透磁率がもっとも関係が密なものとして、異方性磁界と飽和磁化がある。概ね、透磁率と共鳴周波数の積は、異方性磁界の1/2乗および飽和磁化の3/2乗に比例する関係にある。

共鳴周波数は、

$$f_r = \left(\frac{H_k}{2} \right) [H_k^4 - M_s^2]^{1/2} \quad \dots \text{式(1)}$$

という関係式(1)で表される。ここで、 f_r は共鳴周波数を表し、 γ はジャイロ磁気定数を表し、 H_k は異方性磁界を表し、 $4\pi M_s$ は飽和磁化を表している。

40

【0014】

従って、材料の異方性磁界および飽和磁化を大きくすることで共鳴周波数を上げ、使用限界周波数を上げることが可能となる。従来のCo系非結晶質合金薄膜の代表的な一例であるCoZrNb非結晶質合金薄膜の共鳴周波数を2GHzまで向上させるために必要な異方性磁界を上記式(1)を用いて計算してみる。すると、440e(3501.52A/m)以上の異方性磁界を必要とすることが算出される。この算出結果により、通常、150e(1193.7A/m)程度の異方性磁界しか持たない当該膜を、GHz周波数帯域へ応用することは困難であることが分かる。ところが、2GHzの共鳴周波数を実現するために必要とされる異方性磁界は、飽和磁化が、14kG(1.4T)の場合は360e(2864.88A/m)、18kG(1.8T)の場合は280e(2228.24A

50

/m)となり、飽和磁化および結晶磁気異方性が大きいFe系合金またはFeCo系合金との組み合わせにより必要な飽和磁化および異方性磁界を実現することが期待できる。

【0015】

従来より、FeあるいはFeCoを主成分とする合金は高飽和磁化を示す材料として広く知られていた。しかしながら、Fe系またはFeCo系合金の磁性薄膜をスパッタなどの成膜技術により作製すると、飽和磁化は高いものの、保磁力が大きく、また比抵抗が小さくなってしまい良好な高周波特性を得ることが困難であった。その主原因としては、以下のことが考えられていた。すなわち、図2に示すように、スパッタなどで成膜したFe系またはFeCo系の薄膜101は、基板100の垂直方向に柱状に成長しており、この柱状構造に起因する垂直磁気異方性の発生が問題とされていた。

10

【0016】

しかしながら、本発明者らが鋭意研究したところ、Feに所定量のC(炭素)添加したFe-C薄膜において以下のことを知見した。

(1)所定厚さを有するFe-C薄膜も柱状構造をなすが、厚さが70nm程度以下であれば、柱状構造のアスペクト比(柱の長さと巾の比、長さ÷巾)が小さいために優れた軟磁気特性が得られる。具体的には、柱状成長しているFe-Cの平均巾は約50nmであり、柱状構造のアスペクト比が1.4以下となる厚さ70nm程度までは、柱状構造による軟磁気特性の劣化を抑制できる。このようなアスペクト比のFe-C薄膜を得るためには、図3に示すように、Co系非結晶質合金薄膜111をFe-C薄膜112とFe-C薄膜112との間に介在させることが有効である。そうすることによって、Fe-C結晶粒の連続的な柱状構造の成長を阻止することができるからである。

20

(2)Fe-C薄膜の成長過程を綿密に調査したところ、厚さ3nm以下程度までの膜成長初期段階においては、結晶粒径が3nm以下の微結晶状態になり、さらに、不安定な表面の割合が多くなるため、非結晶質(アモルファス)の特徴が現れる。つまり、図4に示すように、Fe-C薄膜121は基板120上に形成された非結晶質構造部分121aと、非結晶質構造部分121a上に形成される柱状構造部分121bとから構成される。非結晶質であることは、X線回折により、Fe-C薄膜の場合にはFeのbcc(110)結晶面の回折ピークが現れないことから判断すればよい。このような非結晶質構造の薄膜は、柱状構造にならないことはもちろん、非結晶質構造に起因する高抵抗(100μcm以上)特性が得られる。したがって、Co系非結晶質合金薄膜と積層する形態を採択すれば、軟磁気特性はもちろん高抵抗化が実現でき、GHz帯域における透磁率が大きいとともに、渦電流損失が抑制され性能指数が大きい磁性薄膜を得ることができる。

30

(3)以上の(1)、(2)の事項は、Fe-C薄膜に限らず、FeCo-C薄膜、さらにはCをBまたはNで置換した場合でも有効である。

【0017】

すなわち、本発明は、上述したように軟磁気特性に優れているCo系非結晶合金の薄膜と、高飽和磁化かつ高異方性磁界を持つFe-(C,B,N)またはFeCo-(C,B,N)薄膜とを積層させて、GHz領域(1GHz)で透磁率の実数部(μ')が200以上で、かつ性能指数Q($Q = \mu' / \mu''$)が1以上、飽和磁化が12kG(1.2T)以上の特性を容易に得ることができる高周波用の複合磁性薄膜の提供を可能にしたのである。

40

【0018】

したがって本発明は、T-L組成物(ただし、T=FeまたはFeCo、L=Cおよび/またはB)からなる第1の層と、第1の層のいずれかの面側に配置されたCo系非結晶質合金からなる第2の層とを含み、第1の層の厚さをT1、第2の層の厚さをT2とした場合に、T1が3~20nmの範囲にあり、かつT1/T2が0.15~3.50の範囲にあることを特徴とする高周波用磁性薄膜を提供する。また本発明は、T-L組成物(ただし、T=FeまたはFeCo、L=Cおよび/またはB)からなる第1の層と、第1の層のいずれかの面側に配置されたCo系非結晶質合金からなる第2の層と、を含み、第1の層の厚さをT1、第2の層の厚さをT2とした場合に、T1が0.5~3.0nmの範

50

囲にあり、かつ T_1 / T_2 が $0.8 \sim 3.0$ の範囲にあることを特徴とする高周波用磁性薄膜をも提供する。第1の層は、 L としてさらに N を含むことができる。

本発明の高周波用磁性薄膜は、複数の第1の層と複数の第2の層とが積層、望ましくは交互に積層された多層膜構造によって構成されることが望ましい。

【0019】

本発明の高周波用磁性薄膜は、 1 GHz における複素透磁率の実数部 (μ') が 400 以上で、かつ性能指数 Q ($Q = \mu' / \mu''$) が 4 以上、飽和磁化が 14 kG (1.4 T) 以上の特性を得ることができる。なお、本発明において、これら特性は成膜したままの状態を得ることができる。つまり、成膜完了からの経過時間を問わないが、成膜後に例えば熱処理等の処理を加えていない状態で測定した値によって本発明で規定する特性を具備する

10

か否かの判断を行うことができる。ただし、成膜後に熱処理等の処理を加えた場合であっても、本発明で規定する特性を具備するものは本発明の範囲に含まれることは言うまでもない。以下も同様である。

この特性は第1の層および第2の層の厚さを規定することによって得ることができる。具体的には、第1の層の厚さを T_1 、第2の層の厚さを T_2 とした場合に、 T_1 を $3 \sim 70\text{ nm}$ の範囲とし、かつ T_1 / T_2 を $0.15 \sim 3.50$ の範囲とすることにより、上記特性を得ることができる。

【0020】

また本発明の高周波用磁性薄膜によれば、 1 GHz における複素透磁率の実数部 (μ') が 500 以上で、かつ性能指数 Q ($Q = \mu' / \mu''$) が 10 以上、飽和磁化が 14 kG (1.4 T) 以上の特性を得ることができる。

20

この特性は第1の層および第2の層の厚さを規定することによって得ることができる。具体的には、第1の層の厚さを T_1 、第2の層の厚さを T_2 とした場合に、第1の層の厚さ T_1 を $0.5 \sim 3.0\text{ nm}$ の範囲とし、かつ T_1 / T_2 を $0.8 \sim 3.0$ の範囲とすることにより、上記特性を得ることができる。

【0021】

また、本発明の好ましい態様として、第2の層を構成する Co 系非結晶質合金は、 Co を主成分とし、 B 、 C 、 Si 、 Ti 、 V 、 Cr 、 Mn 、 Fe 、 Ni 、 Y 、 Zr 、 Nb 、 Mo 、 Hf 、 Ta 、 W から選択される少なくとも1種の添加元素を含んで形成される。

また、本発明の好ましい態様として、 Co 系非結晶質合金は、 CoZr 、 CoHf 、 CoNb 、 CoMo 、 CoZrNb 、 CoZrTa 、 CoFeZr 、 CoFeNb 、 CoTiNb 、 CoZrMo 、 CoFeB 、 CoZrNbMo 、 CoZrMoNi 、 CoFeZrB 、 CoFeSiB 、 CoZrCrMo から選択されるように構成される。

30

また、本発明の好ましい態様として、第1の層は、その中に含有される L 元素の濃度が $2 \sim 20\text{ at\%}$ であるように構成される。

【0022】

以上の本発明によれば、 Fe または FeCo を主成分とし、単層膜で飽和磁化が 16 kG (1.6 T) 以上の特性を有する第1の層と、 Co を主成分とし、単層膜で透磁率 1000 以上 (測定周波数: 10 MHz)、飽和磁化が 10 kG (1.0 T) 以上、比抵抗が $100\text{ }\mu\text{ cm}$ 以上の特性を有する第2の層とが交互に積層している複合磁性薄膜が提供される。なお、第1の層はアスペクト比が 1.4 以下の柱状構造を主体とするか、または非結晶質構造から構成されることが望ましい。

40

【0023】

本発明の高周波用磁性薄膜はコイルを挟持するように対向配置された磁気素子の構成要素として用いることができる。この磁気素子を構成する、高周波用磁性薄膜は、 $T-L$ 組成物 (ただし、 $T = \text{Fe}$ または FeCo 、 $L = \text{C}$ および / または B) からなる第1の層と、第1の層のいずれかの面側に配置された Co 系非結晶質合金からなる第2の層とが交互に積層された多層膜であり、第1の層の厚さを T_1 、第2の層の厚さを T_2 とした場合に、 T_1 が $3 \sim 20\text{ nm}$ の範囲にあり、かつ T_1 / T_2 が $0.15 \sim 3.50$ の範囲にあることを特徴とする。 また、この高周波用磁性薄膜として、 $T-L$ 組成物 (ただし、 $T = \text{Fe}$

50

e または F e C o、L = C および / または B) からなる第 1 の層と、第 1 の層のいずれかの面側に配置された C o 系非結晶質合金からなる第 2 の層とが交互に積層された多層膜であり、第 1 の層の厚さを T 1、第 2 の層の厚さを T 2 とした場合に、T 1 が 0 . 5 ~ 3 . 0 n m の範囲にあり、かつ T 1 / T 2 が 0 . 8 ~ 3 . 0 の範囲にあることを特徴とする。
第 1 の層は、L としてさらに N を含むことができる。

【 0 0 2 4 】

本発明の磁気素子は、コイルを挟持するように対向配置された高周波用磁性薄膜を有するものとして構成することができる。そして、平面型の磁気素子であって、その磁気素子がインダクタまたはトランスとすることができる。また、モノリシックマイクロ波集積回路に用いられるインダクタへの適用も本発明の望ましい態様として掲げることができる。

10

【 0 0 2 5 】

【 発明の実施の形態 】

以下、本発明の高周波用磁性薄膜について詳細に説明する。

本発明の高周波用磁性薄膜 1 は、図 1 の模式的断面図に示されるように、C o 系非結晶質合金層 3 と T - L 組成物層 7 とが交互に積層された多層膜構造をなす複合磁性薄膜である。図 1 に示される実施の形態では合計 8 層からなる多層膜構造が例示されている。

【 0 0 2 6 】

高周波用磁性薄膜 1 は、T - L 組成物層 7 と、T - L 組成物層 7 の一方の面側に配置された C o 系非結晶質合金層 3 との組み合わせがその基本的な構成となる。

T - L 組成物層 7 の T は F e または F e C o であり、L は C および / または B であり、
さらに N を含むことができる。 F e または F e C o を主成分とする合金からなる薄膜は、
高い飽和磁化を示すものの、保磁力が大きくかつ非抵抗が小さくなる傾向にあった。そこで本発明は、軟磁気特性を向上することのできる L (C および / または B であり、
さらに N を含むことができる) を含有する。ここで、T - L 組成物層 7 は 2 つの形態を包含する。
1 つは、T - L 組成物層 7 のアスペクト比が 1 . 4 以下の柱状構造を有する形態である。
この形態をなすことより高飽和磁化および優れた軟磁気特性を得ることができる。また
他の 1 つは、非結晶質構造である。T - L 組成物層 7 が非結晶質構造をなすことにより、
さらなる軟磁気特性の向上および高電気抵抗が達成できる。高周波特性に効果を見出す
ためには、T - L 組成物層 7 は、単層膜で飽和磁化 1 . 6 T 以上の特性を有することが望ましい。
なお、T - L 組成物層 7 のアスペクト比が 1 . 4 以下の柱状構造を有する形態にお
いても、薄膜形成初期段階で非結晶質構造が形成されていることから、本願発明における
柱状構造とはこの非結晶質構造部分を含む意味と解釈するものとする。

20

30

【 0 0 2 7 】

T - L 組成物層 7 は膜厚が厚くなり、アスペクト比が 1 . 4 を超えて 2 . 0 以上になると、垂直磁気異方性が堅調にあらわれ、軟磁気特性が劣化してしまう。本発明においては、T - L 組成物層 7 に存在する全ての結晶粒のアスペクト比が 1 . 4 以下であることが最も望ましいが、そのアスペクト比の増加分が 3 0 % 以下、さらには 1 0 % 以下の結晶粒を部分的に含有することを許容する。したがって、本発明では T - L 組成物層 7 の厚さ (T 1) は 1 0 0 n m 以下、望ましくは 7 0 n m 以下とする。前述したように、T 1 が 3 n m 以下になると、T - L 組成物層 7 は前述のように非結晶質構造になり、性能的には、例えば、T 1 を 0 . 2 n m まで薄くしても性能の低下は起こらない。しかし、T 1 が薄くなりすぎると積層回数が増えるため、成膜時間が長くなるという製造上の不具合が生じる。従って、T 1 は、0 . 5 n m 以上、さらには 1 . 0 n m 以上とすることが望ましい。

40

図 5 は厚さ T 1 が 3 n m 以下の F e - C 薄膜と C o Z r N b 非結晶質合金薄膜とを積層した複合磁性薄膜の X 線回折結果を示している。図 5 から分かるように、F e - C 薄膜の厚さが 3 n m 以下の積層膜は、F e - C の b c c (1 1 0) 結晶面の回折ピークは典型的な非結晶質のブロードな形状を示す。

【 0 0 2 8 】

本発明の T - L 組成物層 7 は、その中に含有される L 元素 (C および / または B であり、
さらには N を含むことができる) 濃度が 2 ~ 2 0 a t %、望ましくは 4 ~ 1 0 a t % と

50

される。L 元素濃度が 2 at % 未満であると、bcc 構造の柱状結晶が基板に対して垂直方向に成長しやすくなり、保磁力が大きくなるとともに、比抵抗が小さくなってしまい、良好な高周波特性を得ることが困難となってしまう。この一方で、この L 元素濃度が 20 at % を超えると、異方性磁界が減少するために共鳴周波数の低下が生じて、高周波用の薄膜として十分に機能することが困難となってしまう。また、T としては Fe のみよりも FeCo を採用するほうが高い飽和磁化が得られることから望ましい。このときの Co の含有量は、80 at % 以下の範囲で適宜定めればよいが、20 ~ 50 at % の範囲で含有させることが望ましい。また、Fe、FeCo 以外に本発明に悪影響を与えない範囲で他の元素を含有させることを本願発明は許容する。

【0029】

10

本発明において、第 2 の層として Co 系の非結晶質合金を用いるのは、高透磁率であり、かつ高抵抗（比抵抗が $100 \sim 200 \mu\text{cm}$ ）のために高周波域での渦電流損失が抑制できるからである。また、第 2 の層が結晶質の材料であると、その上に接する第 1 の層はその結晶の成長が第 2 の層の結晶構造に影響され連続的な柱状構造になってしまうのに対して、第 2 の層が非結晶質材料であると、第 1 の層が柱状構造であっても第 2 の層によってその成長が分断されるため、連続的な柱状構造にならないからである。Co 系非結晶質合金層 3 は、単層膜で透磁率 1000 以上（10 MHz）、飽和磁化 10 kG（1.0 T）以上、比抵抗 $100 \mu\text{cm}$ 以上の特性を有していることが望ましい。

【0030】

本発明における第 2 の層としての Co 系非結晶質合金層 3 は、Co を主成分とし、B, C, Si, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Y, Zr, Nb, Mo, Hf, Ta, W から選択される少なくとも 1 種の添加元素を含んで形成されており、このものは非結晶質相を主体として構成されている。添加元素の割合（2 種以上の場合は総和量）は、通常、5 ~ 50 at %、好ましくは、10 ~ 30 at % とされる。添加元素の割合が多くなり過ぎると、飽和磁化が小さくなってしまうという不都合が生じ、また、添加元素の割合が少なくなり過ぎると、磁歪の制御が困難となり、有効な軟磁気特性が得られなくなるという不都合が生じる。

20

【0031】

Co 系非結晶質合金層 3 を構成する好適な組成系の例としては、CoZr, CoHf, CoNb, CoMo, CoZrNb, CoZrTa, CoFeZr, CoFeNb, CoTiNb, CoZrMo, CoFeB, CoZrNbMo, CoZrMoNi, CoFeZrB, CoFeSiB, CoZrCrMo などが挙げられる。

30

【0032】

以上の T - L 組成物層 7 および Co 系非結晶質合金層 3 を交互に積層することにより、1 GHz における複素透磁率の実数部（ μ' ）が 400 以上で、かつ性能指数 Q（ $Q = \mu' / \mu''$ ）が 4 以上、飽和磁化が 14 kG（1.4 T）以上の高周波用磁性薄膜 1 を得ることができる。なお、GHz 領域（1 GHz）で透磁率の実数部（ μ' ）はできるだけ大きな値をとることが望まれ、特に上限値はない。同様に、飽和磁化についてもできるだけ大きな値をとることが望まれ、特に上限値はない。

【0033】

40

以上の特性を得るためには、T - L 組成物層 7 の厚さを T1、Co 系非結晶質合金層 3 の厚さを T2 とした場合に、T1 を 3 ~ 70 nm の範囲とし、かつ T1 / T2 は 0.15 ~ 3.50、好ましくは 0.25 ~ 2.50 とすることが重要である。この値が、3.50 を超えると、T - L 組成物層 7 のアスペクト比が大きくなり、異方性磁界および磁化困難軸方向の保磁力（Hch）が急に増大するなどして垂直磁気異方性が発生するために、特に良好な軟磁性特性を得ることができなくなるという不都合が生じてしまう。また、この値が 0.15 未満となると 14 kG（1.4 T）以上の飽和磁化を得ることができなくなるからである。

【0034】

また、以上の T - L 組成物層 7 および Co 系非結晶質合金層 3 を交互に積層することによ

50

り、1 GHzにおける複素透磁率の実数部 (μ') が500以上で、かつ性能指数 Q ($Q = \mu' / \mu''$) が10以上、飽和磁化が14 kG (1.4 T) 以上の高周波用磁性薄膜1を得ることもできる。

【0035】

以上の特性を得るためには、T-L組成物層7の厚さをT1、Co系非結晶質合金層3の厚さをT2とした場合に、T1を0.5~3.0 nmの範囲とし、かつT1/T2を0.8~3.0の範囲にすればよい。

T1/T2が、3.0を超えると、FeCの粒子が大きく成長してしまい、130 μ cm以上の高い比抵抗が得られなくなってしまう。また、この値が0.8未満となると、高飽和磁化であるT-L組成物層7の割合が少なくなってしまう、共鳴周波数の高周波数化が困難となってしまう。好ましくは1.0以上2.5以下とされる。上記のT1、およびT1/T2を本願発明の範囲内とすることで、比抵抗が130 μ cm以上で、かつ1 GHzにおける複素透磁率の実数部 (μ') が500以上、性能指数 ($Q = \mu' / \mu''$) が10以上、飽和磁化が14 kG (1.4 T) 以上という極めて優れた特性を有する複合薄膜の実現が可能となる。なお、このような特性は、前述したように、熱処理等を施さない成膜ままの状態で測定される。

【0036】

本発明の高周波用磁性薄膜1において、交互に積層されるT-L組成物層7およびCo系非結晶質合金層3の合計積層回数に関する制限はないが、通常、5~3000回、好ましくは10~700回程度とされる。高周波用磁性薄膜1の中で同一種類(T-L組成物層7またはCo系非結晶質合金層3)の膜は、通常、同じ膜厚となるように形成される。ただし、稀なケースとして、同一種類の膜であっても、積層箇所によって成膜厚さを他の部分と異ならしめることがあり得る。極端な例として、例えば、中間付近のT-L組成物層7の膜厚を20 nm、上下のT-L組成物層7の2層の膜厚をそれぞれ5 nmとするような仕様も場合によってはあり得る。このような場合、算術平均の厚さ(Tf)により算出すればよい。上記例では、算術平均値であるTf=10 nmという数値を採択して、例えばTf/Tc(TcはCo系非結晶質合金層3の膜厚の算術平均値)を求めるようにすればよい。また、本発明の高周波用磁性薄膜1は、Co系非結晶質合金層3およびT-L組成物層7以外の層を配設することを許容する。

【0037】

このような本発明の高周波用磁性薄膜1の厚さは、100~2000 nm、好ましくは300~1000 nmとされる。この値が、100 nm未満であると、平面型磁気素子に応用する場合、所望のパワーを扱うことが困難になるという不都合が生じ得る。また、後述の図9および図10に示される磁性薄膜を備える有芯コイルの形態としても、空芯コイルに比べてインダクタンスの増加が10%未満となる傾向が生じ、磁性薄膜の効果が十分発揮できないという不都合が生じる。また、この値が、2000 nmを超えると、表皮効果による高周波損失が堅調になり、GHz帯域の損失が増大するという不都合が生じ得る。

【0038】

本発明の高周波用磁性薄膜1は、真空薄膜形成方法、特にスパッタ法により形成されることが好ましい。より具体的には、RFスパッタ、DCスパッタ、マグネトロンスパッタ、イオンビームスパッタ、誘導結合RFプラズマ支援スパッタ、ECRスパッタ、対向ターゲット式スパッタなどが用いられる。

【0039】

Co系非結晶質合金層3を形成するためのターゲットとしては、Coターゲット上に、所望の添加元素のペレットを配置した複合ターゲットを用いたり、所望の添加成分を含有するCo合金のターゲットを用いればよい。

T-L組成物層7を形成するためのターゲットとしては、Fe(またはFeCo合金)ターゲットの上にL元素のペレットを配置した複合ターゲットを用いるか、Fe(またはFeCo)とL元素の合金ターゲットを用いればよい。L元素の濃度調整は、例えば、L元素ペレットの量を調整するようにすればよい。

10

20

30

40

50

なお、スパッタリングはあくまで本発明の一態様であり、他の薄膜作成プロセスを適用できることは言うまでもない。本発明の高周波用磁性薄膜 1 の具体的な成膜方法については、後述の実施例を参照されたい。

【0040】

本発明の高周波用磁性薄膜 1 が形成される基板 2 (図 1) としては、ガラス基板、セラミック材料基板、半導体基板、樹脂基板等が例示できる。セラミック材料としては、アルミナ、ジルコニア、炭化珪素、窒化珪素、窒化アルミニウム、ステアタイト、ムライト、コージライト、フォルステライト、スピネル、フェライトなどが挙げられる。中でも熱伝導率が大きく、曲げ強度も大きい窒化アルミニウムを用いることが好ましい。

また本発明の高周波用磁性薄膜 1 は、上述してきたように極めて優れた高周波特性を有するとともに室温で成膜ままの状態での性能が発揮できる。そのため、MMIC のような半導体プロセスで製作される高周波集積回路に最適な材料である。従って、基板 11、基板 21 および基板 31 (後述の図 7、図 8 および図 10 に示される) としては、Si、GaAs、InP、SiGe などの半導体基板が例示できる。

【0041】

平面型の磁気素子をインダクタに応用した一例が図 6 および図 7 に示される。図 6 は、インダクタの平面図を模式的に示したものであり、図 7 は図 6 の A - A 矢視断面を模式的に示した図面である。

【0042】

これらの図面に示されるインダクタ 10 は、基板 11 と、この基板 11 の両面にスパイラル状に形成された平面コイル 12、12 と、これらの平面コイル 12、12 と基板 11 面を覆うように形成された絶縁膜 13、13 と、これの各々の絶縁膜 13、13 の上を覆うように形成された一対の本発明の高周波用磁性薄膜 1 とを備えている。そして、上記 2 つの平面コイル 12、12 は、基板 11 の略中央部分に形成されたスルーホール 15 を介して電氣的に接続されている。さらに、基板 11 の両面の平面コイル 12、12 からそれぞれ接続のための端子 16 が基板 11 の外方に引き出されている。このようなインダクタ 10 は、一対の高周波用磁性薄膜 1 によって、絶縁膜 13、13 を介して平面コイル 12、12 を挟むように構成されているので、接続端子 16、16 間にインダクタが形成される。

このように形成されたインダクタは、小型かつ薄型軽量で、特に 1 GHz 以上の高周波帯域で優れたインダクタンスを示す。

なお上記説明したインダクタ 10 において、平面コイル 12、12 を並列的に複数設けることによりトランスを形成することができる。

【0043】

本発明の平面型磁気素子をインダクタに応用した他の好適な実施の形態が図 8 に示される。図 8 は、インダクタの断面を模式的に示したものである。この図に示されるようにインダクタ 20 は、基板 21 と、この基板 21 の上に必要に応じて形成される酸化膜 22 と、この酸化膜 22 の上に形成された本発明の高周波用磁性薄膜 1a と、この高周波用磁性薄膜 1a の上に形成された絶縁膜 23 を備え、さらにこの絶縁膜 23 の上に形成された平面コイル 24 と、これらの平面コイル 24 と絶縁膜 23 を覆うように形成された絶縁膜 25 と、この絶縁膜 25 の上に形成された本発明の高周波用磁性薄膜 1b とを有している。このように形成されたインダクタ 20 もやはり、小型かつ薄型軽量で、特に 1 GHz 以上の高周波帯域で優れたインダクタンスを示す。そしてこのようなインダクタ 20 において、平面コイル 24 を並列的に複数設けることによりトランスを形成することができる。

【0044】

ところで、薄膜インダクタなどの平面型磁気素子においては、それぞれの素子の設計仕様に応じた最適な透磁率を提供することが要望される。高周波帯域における透磁率は、異方性磁界と相関が高く、高周波帯域における透磁率は異方性磁界の逆数に比例する。高周波帯域における高透磁率を実現するためには、磁性薄膜面内で一軸異方性を有することが必要である。また、薄膜インダクタなどの平面型磁気素子では、磁性薄膜の飽和磁化が高い

10

20

30

40

50

ほど直流重畳特性が大きくなる事が期待できる。そのため、飽和磁化の大きさは、高周波用磁性薄膜 1 の設計において重要なパラメータといえる。

【0045】

本発明の高周波用磁性薄膜 1 を、MMIC 用インダクタとして応用した実施例が図 9 および図 10 に示される。

図 9 はインダクタの導体層部分を抜き出した平面図を模式的に示したものであり、図 9 は図 10 の A - A 矢視断面を模式的に示した図面である。

【0046】

これらの図面で示されているインダクタ 30 は、図 10 に示されるように基板 31 と、この基板 31 の上に必要に応じて形成される絶縁酸化膜 32 と、その絶縁酸化膜 32 の上に形成された本発明の高周波用磁性薄膜 1a と、この高周波用磁性薄膜 1a の上に形成された絶縁膜 33 を備え、さらにこの絶縁膜 33 の上に形成されたスパイラルコイル 34 と、このスパイラルコイル 34 と絶縁膜 33 を覆うように形成された絶縁膜 35 と、この絶縁膜 35 の上に形成された本発明の高周波用磁性薄膜 1b とを有している。

【0047】

また、スパイラルコイル 34 は、図 9 に示されるように配線 36 を介して一对の電極 37 に接続されている。そして、スパイラルコイル 34 を囲むように設けられた一对のグラウンドパターン 39 は、それぞれ一对のグラウンド電極 38 に接続され、グラウンド - シグナル - グラウンド (G - S - G) タイプのプロープにより、ウェハ上で周波数特性を評価する形状を有している。

【0048】

本実施の形状にかかる MMIC 用インダクタにおいては、磁芯となる高周波用磁性薄膜 1a、1b でもってスパイラルコイル 34 が挟み込まれた有芯構造を採用している。そのため、スパイラルコイル 34 が同じ形状でありながらも高周波用磁性薄膜 1a、1b が形成されていない空芯構造のインダクタに比べ、インダクタンス値が約 50% 向上される。従って、同じインダクタンス値を得るために必要なスパイラルコイル 34 の占有面積は小さくてもよいことになり、その結果としてスパイラルコイル 34 の小型化が実現できる。

【0049】

ところで、MMIC 用インダクタに適用する磁性薄膜の材料としては、GHz 帯域の高周波数で高透磁率、かつ高い性能指数 Q (低損失) 特性を持つことや、半導体製造プロセスによる集積化が可能であることが求められる。

GHz 帯域の高周波数における高透磁率を実現するためには、共鳴周波数が高く、かつ飽和磁化が大きい材質が有利であり、一軸磁気異方性の制御が必要である。また、高い性能指数 Q を得るためには、高抵抗化による渦電流損失の抑制が重要である。さらに、集積化プロセスに適用するためには、室温で成膜でき成膜ままの状態で使用できることが望ましい。すでにセッティングされている他のオンチップコンポーネントの性能および作成プロセスに加熱による悪影響を及ぼさないようにするためである。

【0050】

【実施例】

以下、具体的実施例を示し、本発明をさらに詳細に説明する。

【0051】

〔実施例 1〕

以下の成膜手法に従って本発明の高周波用磁性薄膜を作製した。

Si ウェハの上に SiO₂ を 100 nm の厚さに成膜したものを基板として用いた。

対向ターゲット式スパッタ装置を用いて、下記の要領で基板上に高周波用磁性薄膜を成膜 (deposit) させた。すなわち、対向ターゲット式スパッタ装置内を 8×10^{-5} Pa まで予備排気した後、圧力が 10 Pa になるまで Ar ガスを導入した後、100 W の RF パワーで 10 分間、基板表面をスパッタエッチングした。次いで、圧力が 0.4 Pa になるように Ar ガスの流量を調整し、300 W のパワーで Co₈₇Zr₅Nb₈ ターゲット、および Fe ターゲット上に C (炭素) ペレットを配置した複合ターゲットを、順次交互に繰り返し

10

20

30

40

50

スパッタリングして後述する仕様からなる高周波用磁性薄膜としての複合磁性薄膜を成膜 (deposit) させた。

成膜時には基板に - 40 ~ - 80 V の DC バイアスを印加した。また、ターゲット表面の不純物の影響を防止するためにシャッターを閉めた状態で 10 分以上プリスパッタリングを行った。その後、シャッターを開けることにより基板上に成膜を行った。成膜速度 (rate) は、CoZrNb 層の成膜時で 0.33 nm / 秒、Fe - C 層の成膜時で 0.27 nm / 秒とした。シャッターの開閉時間を制御することで交互に積層される各層の膜厚を調整した。基板上の第 1 層目として CoZrNb 層を成膜した後、その上に Fe - C 層を形成し、以下順次 CoZrNb 層と Fe - C 層とを交互に積層した。

【0052】

10

このような成膜手法に基づき、厚さ 20 nm の CoZrNb 層と、厚さ 5 nm の Fe - C 層 (炭素濃度: 5 at %) とを交互に 20 回ずつ順次積層して総膜厚 500 nm (合計 40 層) の本発明の複合磁性薄膜 (実施例 1) を形成した。

複合磁性薄膜の構造を確認したところ、Fe - C 層は前述した非結晶質構造部分とその上に形成される柱状構造部分とから構成され、この柱状構造部分はアスペクト比が 1.4 以下であることを確認した。また、CoZrNb 層は非結晶質であることが確認された。

【0053】

成膜後に測定された磁化曲線を図 11 に示した。図 11 に示される磁化曲線から明らかなように、積層膜では面内一軸磁気異方性が観察されており、飽和磁化として 14.7 kG (1.47 T)、異方性磁界として 45 Oe (3580.99 A / m)、磁化容易軸の保

20

磁力として 1.1 Oe (87.53 A / m) が得られた。さらに、この複合磁性薄膜の高周波透磁率特性を図 12 に示した。図 12 に示されるグラフより、共鳴周波数は測定限界の 2 GHz を超えており、GHz 領域で透磁率の実数部 (μ') が 400 以上であることが分かる。また性能指数 Q ($Q = \mu' / \mu''$) は 1 GHz では 1.3 の値が得られ、2 GHz では 2 以上の値が得られていることが分かる。なお、高周波透磁率の測定は薄膜高周波透磁率測定装置 (成瀬科学器機、PHF F1000) を用い、磁気特性は振動試料型磁力計 (理研電子、BHV 35) を用いて測定した。

【0054】

〔実施例 2〕

上記実施例 1 の成膜手法に基づき、厚さ 20 nm の CoZrNb 層と、厚さ 20 nm の Fe - C 層 (炭素濃度: 5 at %) とを交互に 13 層ずつ順次積層して総膜厚 520 nm (合計 26 層) の本発明の複合磁性薄膜 (実施例 2) を形成した。

30

複合磁性薄膜の構造を確認したところ、Fe - C 層は主に柱状結晶粒から構成され、この柱状構造部分はアスペクト比が 1.4 以下であることを確認した。また、CoZrNb 層は非結晶質であることが確認された。また、CoZrNb 層は非結晶質であることが確認された。

【0055】

成膜後に測定された磁化曲線を図 13 に示した。図 13 に示される磁化曲線から明らかなように、積層膜では面内一軸磁気異方性が観察されており、飽和磁化として 16.3 kG (1.63 T)、異方性磁界として 44 Oe (3501.41 A / m)、磁化容易軸の保

40

磁力として 1.2 Oe (95.49 A / m) が得られた。また、この複合磁性薄膜の高周波透磁率特性を図 14 に示した。図 14 に示されるグラフによれば、透磁率の実数部 (μ') が 1 GHz では 540 の値が得られ、1.5 GHz では 670 の値が得られていることが分かる。また性能指数 Q ($Q = \mu' / \mu''$) は 1 GHz では 4.7 の値が得られており、1.5 GHz では 2 以上の値が得られていることが分かる。

【0056】

〔実施例 3〕

上記実施例 1 の成膜手法に基づき、厚さ 20 nm の CoZrNb 層と、厚さ 50 nm の Fe - C 層 (炭素濃度: 5 at %) とを交互に 7 層ずつ順次積層して総膜厚 490 nm (合

50

計14層)の本発明の複合磁性薄膜(実施例3)を形成した。

複合磁性薄膜の構造を確認したところ、Fe-C層は主に柱状結晶粒から構成され、この柱状構造部分はアスペクト比が1.4以下であることを確認した。また、CoZrNb層は非結晶質であることが確認された。

【0057】

成膜後に測定された磁化曲線を図15に示した。図15に示される磁化曲線から明らかなように、積層膜では面内一軸磁気異方性が観察されており、飽和磁化として16.7kG(1.67T)、異方性磁界として480e(3819.72A/m)、磁化容易軸の保磁力として1.60e(127.32A/m)が得られた。

また、この複合磁性薄膜の高周波透磁率特性を図16に示した。図16に示されるグラフから、GHz領域で透磁率の実数部(μ')が500以上であることが分かる。また性能指数Q($Q = \mu' / \mu''$)は1GHzでは6以上の値が得られ、2GHzでは2以上の値が得られていることが分かる。

【0058】

〔実施例4〕

上記実施例1の成膜手法に基づき、厚さ20nmのCoZrNb層と、厚さ2nmのFe-C層(炭素濃度:5at%)とを交互に20層ずつ順次積層して総膜厚440nm(合計40層)の本発明の複合磁性薄膜(実施例4)を形成した。

複合磁性薄膜の構造を確認したところ、Fe-C層およびCoZrNb層ともに非結晶質であることが確認された。

上記の実施例に準じた方法によって、複合磁性薄膜の物性値を求めたところ、12.5kG(1.25T)の飽和磁化、200e(1591.55A/m)の異方性磁界、1.10e(87.53A/m)の磁化容易軸の保磁力が、それぞれ、得られた。

また、1GHzにおける透磁率の実数部(μ')は900であり、1GHzでの性能指数Q($Q = \mu' / \mu''$)は1.3の値が得られた。

【0059】

〔実施例5〕

上記実施例1の成膜手法に基づき、厚さ20nmのCoZrNb層と、厚さ80nmのFe-C層(炭素濃度:5at%)とを交互に7層ずつ順次積層して総膜厚700nm(合計14層)の本発明の複合磁性薄膜(実施例5)を形成した。

この複合磁性薄膜の透過型電子顕微鏡による断面像を図17に示すが、Fe-C層は主に柱状結晶粒から構成され、この柱状構造部分はアスペクト比が1.4以下であることを確認した。

上記の実施例に準じた方法によって、当該複合磁性薄膜の物性値を求めたところ、18.0kG(1.80T)の飽和磁化、920e(7321.13A/m)の異方性磁界、2.80e(222.82A/m)の磁化容易軸の保磁力が、それぞれ、得られた。

また、1GHzにおける透磁率の実数部(μ')は200であり、1GHzでの性能指数Q($Q = \mu' / \mu''$)は8の値が得られた。

【0060】

〔実施例6〕

上記実施例1において、Fe-C層の炭素濃度を5at%から7at%に変えた。それ以外は、上記実施例1と同様にして、本発明の複合磁性薄膜(実施例6)を形成した。

上記の実施例に準じた方法によって、当該複合磁性薄膜の物性値を求めたところ、14.7kG(1.47T)の飽和磁化、420e(3342.25A/m)の異方性磁界、1.00e(79.58A/m)の磁化容易軸の保磁力が、それぞれ、得られた。

また、1GHzにおける透磁率の実数部(μ')は410であり、1GHzでの性能指数Q($Q = \mu' / \mu''$)は14の値が得られた。

【0061】

〔実施例7〕

上記実施例1において、Fe-C層の炭素濃度を5at%から10at%に変えた。それ

10

20

30

40

50

以外は、上記実施例 1 と同様にして、本発明の複合磁性薄膜（実施例 7）を形成した。

上記の実施例に準じた方法によって、当該複合磁性薄膜の物性値を求めたところ、 14.5 kG (1.45 T) の飽和磁化、 400 e (3183.10 A/m) の異方性磁界、 1.00 e (79.58 A/m) の磁化容易軸の保磁力が、それぞれ、得られた。

また、 1 GHz における透磁率の実数部 (μ') は 490 であり、 1 GHz での性能指数 Q ($Q = \mu' / \mu''$) は 11 の値が得られた。

【0062】

〔比較例 1〕

上記実施例 1 において、 $\text{Fe}-\text{C}$ 層を Fe 層に変えた。それ以外は、上記実施例 1 と同様にして、比較例の複合磁性薄膜（比較例 1）を形成した。

上記の実施例に準じた方法によって、当該複合磁性薄膜の物性値を求めたところ、 17.6 kG (1.76 T) の飽和磁化、 280 e (2228.24 A/m) の異方性磁界、 18.00 e (1432.44 A/m) の磁化容易軸の保磁力が、それぞれ、得られた。

また、 1 GHz における透磁率の実数部 (μ') は 120 であり、 1 GHz での性能指数 Q ($Q = \mu' / \mu''$) は 4 の値が得られた。

【0063】

〔実施例 8〕

上記実施例 1 において、 Co 系非結晶質合金層の組成である $\text{Co}_{87}\text{Zr}_5\text{Nb}_8$ を、 $\text{Co}_{89}\text{Zr}_6\text{Ta}_5$ に変えた。それ以外は、上記実施例 1 と同様にして、本発明の複合磁性薄膜（実施例 8）を形成した。

上記の実施例に準じた方法によって、当該複合磁性薄膜の物性値を求めたところ、 14.9 kG (1.49 T) の飽和磁化、 440 e (3501.44 A/m) の異方性磁界、 1.10 e (87.53 A/m) の磁化容易軸の保磁力が、それぞれ、得られた。

また、 1 GHz における透磁率の実数部 (μ') は 455 であり、 1 GHz での性能指数 Q ($Q = \mu' / \mu''$) は 11 の値が得られた。

【0064】

〔実施例 9〕

上記実施例 1 において、 Co 系非結晶質合金層の組成である $\text{Co}_{87}\text{Zr}_5\text{Nb}_8$ を、 $\text{Co}_{80}\text{Fe}_9\text{Zr}_3\text{B}_8$ に変えた。それ以外は、上記実施例 1 と同様にして、本発明の複合磁性薄膜（実施例 9）を形成した。

上記の実施例に準じた方法によって、当該複合磁性薄膜の物性値を求めたところ、 14.7 kG (1.47 T) の飽和磁化、 480 e (3919.72 A/m) の異方性磁界、 1.20 e (95.49 A/m) の磁化容易軸の保磁力が、それぞれ、得られた。

また、 1 GHz における透磁率の実数部 (μ') は 410 であり、 1 GHz での性能指数 Q ($Q = \mu' / \mu''$) は 12 の値が得られた。

【0065】

〔比較例 2〕

上記実施例 1 において、厚さ 500 nm の複合磁性薄膜を、厚さ 500 nm の $\text{Co}_{87}\text{Zr}_5\text{Nb}_8$ の単層膜に変えた。それ以外は、上記実施例 1 と同様にして、比較例の複合磁性薄膜（比較例 2）を形成した。

上記の実施例に準じた方法によって、当該複合磁性薄膜の物性値を求めたところ、 11.5 kG (1.15 T) の飽和磁化、 150 e (1193.66 A/m) の異方性磁界、 0.80 e (63.66 A/m) の磁化容易軸の保磁力が、それぞれ、得られた。

また、 1 GHz における透磁率の実数部 (μ') は 1091 であり、 1 GHz での性能指数 Q ($Q = \mu' / \mu''$) は 1 の値が得られた。

【0066】

〔比較例 3〕

上記実施例 1 において、厚さ 500 nm の複合磁性薄膜を、厚さ 1000 nm の $\text{Co}_{89}\text{Zr}_6\text{Ta}_5$ の単層膜に変えた。それ以外は、上記実施例 1 と同様にして、比較例の複合磁性薄膜（比較例 3）を形成した。

10

20

30

40

50

上記の実施例に準じた方法によって、当該複合磁性薄膜の物性値を求めたところ、 13.0 kG (1.30 T) の飽和磁化、 160 e (1273.24 A/m) の異方性磁界、 0.90 e (71.62 A/m) の磁化容易軸の保磁力が、それぞれ、得られた。
また、 1 GHz における透磁率の実数部 (μ') は 325 であり、 1 GHz での性能指数 Q ($Q = \mu' / \mu''$) は 0.5 の値が得られた。

【0067】

〔比較例4〕

上記実施例1において、厚さ 500 nm の複合磁性薄膜を、厚さ 1000 nm の $\text{Co}_{79}\text{Fe}_9\text{Zr}_2\text{Ta}_{10}$ の単層膜に変えた。それ以外は、上記実施例1と同様にして、比較例の複合磁性薄膜（比較例4）を形成した。

10

上記の実施例に準じた方法によって、当該複合磁性薄膜の物性値を求めたところ、 11.0 kG (1.10 T) の飽和磁化、 360 e (2864.79 A/m) の異方性磁界、 1.10 e (87.53 A/m) の磁化容易軸の保磁力が、それぞれ、得られた。
また、 1 GHz における透磁率の実数部 (μ') は 327 であり、 1 GHz での性能指数 Q ($Q = \mu' / \mu''$) は 1.7 の値が得られた。

【0068】

これらの結果を含めた測定値を表1にまとめて示した。

【0069】

【表1】

	磁性薄膜構成	T1 (nm)	T1/T2	飽和磁化 (T)	異方性磁界 (Oe)	共鳴 周波数(GHz)	μ' (at 1GHz)	μ'' (at 1GHz)	Q (at 1GHz)	比抵抗 ($\mu\Omega\text{cm}$)	保磁力 Hce(Oe)
実施例 1	(20nm CoZrNb/5nm Fe-C ₅) × 20	5	0.25	1.47	45	>>2.0	405	30	13	90	1.1
実施例 2	(20nm CoZrNb/20nm Fe-C ₅) × 13	20	1.00	1.63	44	>>2.0	540	115	4.7	60	1.2
実施例 3	(20nm CoZrNb/50nm Fe-C ₅) × 7	50	2.50	1.67	48	>>2.0	500	80	6.2	50	1.6
実施例 4	(20nm CoZrNb/2nm Fe-C ₅) × 20	2	0.10	1.25	20	1.5	900	700	1.3	100	1.1
実施例 5	(20nm CoZrNb/80nm Fe-C ₅) × 20	80	4.00	1.80	92	>>2.0	200	25	8	48	2.8
実施例 6	(20nm CoZrNb/5nm Fe-C ₇) × 20	5	0.25	1.47	42	>>2.0	410	30	14	90	1.0
実施例 7	(20nm CoZrNb/5nm Fe-C ₁₀) × 20	5	0.25	1.45	40	>>2.0	490	45	11	88	1.0
比較例 1	(20nm CoZrNb/50nm Fe) × 20	—	—	1.76	28	1.8	120	30	4	42	18.0
実施例 8	(20nm CoZrTa/5nm Fe-C ₅) × 20	5	0.25	1.49	44	>>2.0	455	40	11	85	1.1
実施例 9	(20nm CoFeZrB/5nm Fe-C ₅) × 20	5	0.25	1.47	48	>>2.0	410	35	12	105	1.2
比較例 2	500nm Co ₈₇ Zr ₅ Nb ₈	—	—	1.15	15	1.25	1091	1068	1	120	0.8
比較例 3	1000nm Co ₈₉ Zr ₆ Ta ₅	—	—	1.30	16	1.3	325	612	0.5	101	0.9
比較例 4	1000nm Co ₇₉ Fe ₉ Zr ₂ Ta ₁₀	—	—	1.10	36	1.8	327	191	1.7	125	1.1

【 0 0 7 0 】

表 1 に示すように、本発明による各実施例は、1.2 T 以上の飽和磁化、1.5 GHz 以上の共鳴周波数、1.0 以上の Q 値を得ることが可能である。この中で、T1 が 3 ~ 7 0

nmの範囲、かつ T_1 / T_2 が0.15 ~ 3.50の範囲にある実施例1 ~ 3、6、7、8および9は1.4 T以上の飽和磁化、2.0 GHz以上の共鳴周波数、4.0以上のQ値を得ることができる。

【0071】

〔実施例10〕

Siウエハの上にSiO₂の厚さを500 nmの厚さに成膜したものを基板とした以外実施例1と同様にして厚さ1.0 nmのCoZrNb層と、厚さ1.0 nmのFe-C層（炭素濃度：5 at%）とを交互に250回ずつ順次積層して総膜厚500 nm（合計500層）の本発明の複合磁性薄膜（実施例10）を形成した。なお、成膜中に基板温度の制御は行っていないが、基板温度は総膜厚が500 nmになるまで成膜する間に30℃まで上昇した。

複合磁性薄膜の構造を確認したところ、Fe-C層およびCoZrNb層ともに非結晶質であることが確認された。

【0072】

成膜後に測定された磁化曲線を図18に示した。図18に示される磁化曲線から明らかなように、積層膜では面内一軸磁気異方性が観察されており、飽和磁化は14.3 kG（1.43 T）、磁化容易軸方向の保磁力は0.6 Oe（47.75 A/m）、磁化困難軸方向の保磁力は0.8 Oe（63.66 A/m）が得られた。さらに、この実施例の積層膜の高周波透磁率特性を図19に示した。図19に示されるグラフより、共鳴周波数は測定限界の2 GHzを超えており、GHz領域で透磁率の実数部（ μ' ）が500以上であることが分かる。また、性能指数Q（ $Q = \mu' / \mu''$ ）は1 GHzでは15の値が得られ、2 GHzでは7の値が得られていることが分かる。

【0073】

〔実施例11〕

上記実施例10の成膜手法に基づき、厚さ1.5 nmのCoZrNb層と、厚さ1.5 nmのFe-C層（炭素濃度：5 at%）とを交互に170層ずつ順次積層して総膜厚510 nm（合計340層）の本発明の複合磁性薄膜（実施例11）を形成した。

複合磁性薄膜の構造を確認したところ、Fe-C層およびCoZrNb層ともに非結晶質であることが確認された。

成膜後に測定された磁化曲線を図20に示した。図20に示される磁化曲線から求めた磁気特性として、飽和磁化は15.5 kG（1.55 T）、磁化容易軸方向の保磁力は0.6 Oe（47.75 A/m）、磁化困難軸方向の保磁力は0.8 Oe（63.66 A/m）であった。また、この実施例の積層膜の高周波透磁率特性を図21に示した。図21に示されるグラフより、透磁率の実数部（ μ' ）の値として、1.0 GHzでは720の値が得られ、1.5 GHzでは1055の値が得られていることが分かる。また、性能指数Q（ $Q = \mu' / \mu''$ ）の値として、1.0 GHzでは13の値が得られ、1.5 GHzでは5の値が得られていることが分かる。

【0074】

〔実施例12〕

上記実施例10の成膜手法に基づき、厚さ1.0 nmのCoZrNb層と、厚さ2.0 nmのFe-C層（炭素濃度：5 at%）とを交互に170層ずつ順次積層して総膜厚510 nm（合計340層）の本発明の複合磁性薄膜（実施例12）を形成した。

複合磁性薄膜の構造を確認したところ、Fe-C層およびCoZrNb層ともに非結晶質であることが確認された。

成膜後に測定された磁化曲線を図22に示した。図22に示される磁化曲線から求めた磁気特性として、飽和磁化は14.8 kG（1.48 T）、磁化容易軸方向の保磁力は0.7 Oe（55.70 A/m）、磁化困難軸方向の保磁力は1.0 Oe（79.58 A/m）であった。

【0075】

また、この実施例の積層膜の高周波透磁率特性を図23に示した。図23に示されるグラ

10

20

30

40

50

フより、共鳴周波数は測定限界の2 GHzを超えており、GHz領域で透磁率の実数部(μ')が500以上であることが分かる。また、性能指数 Q ($Q = \mu' / \mu''$)の値として、1.0 GHzでは24の値が得られ、1.5 GHzでは8.5の値が得られ、2 GHzでは3の値が得られていることが分かる。

【0076】

〔実施例13〕

上記実施例10の成膜手法に基づき、厚さ1.0 nmのCoZrNb層と、厚さ2.8 nmのFe-C層(炭素濃度:5 at%)とを交互に135層ずつ順次積層して総膜厚513 nm(合計270層)の本発明の複合磁性薄膜(実施例13)を形成した。

複合磁性薄膜の構造を確認したところ、Fe-C層およびCoZrNb層ともに非結晶質であることが確認された。

10

上記の実施例に準じた方法によって、当該複合磁性薄膜の物性値を求めたところ、15.0 kG(1.50 T)の飽和磁化、0.8 Oe(63.66 A/m)の磁化容易軸方向の保磁力、0.9 Oe(71.62 A/m)の磁化困難軸方向の保磁力が、それぞれ、得られた。

また、1 GHzにおける透磁率の実数部(μ')は550であり、1 GHzでの性能指数 Q ($Q = \mu' / \mu''$)は22の値が得られた。

【0077】

〔実施例14〕

上記実施例1の成膜手法に基づき、厚さ0.8 nmのCoZrNb層と、厚さ2.8 nmのFe-C層(炭素濃度:5 at%)とを交互に140層ずつ順次積層して総膜厚504 nm(合計280層)の本発明の複合磁性薄膜(実施例14)を形成した。

20

複合磁性薄膜の構造を確認したところ、Fe-C層およびCoZrNb層ともに非結晶質であることが確認された。

上記の実施例に準じた方法によって、当該複合磁性薄膜の物性値を求めたところ、15.8 kG(1.58 T)の飽和磁化、0.9 Oe(71.62 A/m)の磁化容易軸方向の保磁力、1.1 Oe(87.54 A/m)の磁化困難軸方向の保磁力が、それぞれ、得られた。

また、1 GHzにおける透磁率の実数部(μ')は400であり、1 GHzでの性能指数 Q ($Q = \mu' / \mu''$)は16の値が得られた。

30

【0078】

〔実施例15〕

上記実施例1の成膜手法に基づき、厚さ2.0 nmのCoZrNb層と、厚さ1.0 nmのFe-C層(炭素濃度:5 at%)とを交互に170層ずつ順次積層して総膜厚510 nm(合計340層)の本発明の複合磁性薄膜(実施例15)を形成した。

複合磁性薄膜の構造を確認したところ、Fe-C層およびCoZrNb層ともに非結晶質であることが確認された。

【0079】

上記の実施例に準じた方法によって、当該複合磁性薄膜の物性値を求めたところ、13.9 kG(1.39 T)の飽和磁化、0.6 Oe(47.75 A/m)の磁化容易軸方向の保磁力、0.7 Oe(55.70 A/m)の磁化困難軸方向の保磁力が、それぞれ、得られた。

40

また、1 GHzにおける透磁率の実数部(μ')は755であり、1 GHzでの性能指数 Q ($Q = \mu' / \mu''$)は6の値が得られた。

【0080】

〔比較例5〕

上記実施例10において、Fe-C層をFe層に変えた。それ以外は、上記実施例10と同様にして、比較例の複合磁性薄膜(比較例5)を形成した。

上記の実施例に準じた方法によって、当該複合磁性薄膜の物性値を求めたところ、20.7 kG(2.07 T)の飽和磁化、4.2 Oeの磁化容易軸方向の保磁力(334.23

50

A / m)、19.0 Oe (1511.97 A / m) の磁化困難軸方向の保磁力が、それぞれ、得られた。

また、1 GHz における透磁率の実数部 (μ') は150であるが、透磁率の値が小さいため μ'' の実測値には信頼性がなく、性能指数 Q ($Q = \mu' / \mu''$) は求められなかった。

【0081】

〔実施例16〕

上記実施例10において、Fe - C層の炭素濃度を5 at % から7 at % に変えた。それ以外は、上記実施例10と同様にして、本発明の複合磁性薄膜 (実施例16) を形成した。

10

【0082】

上記の実施例に準じた方法によって、当該複合磁性薄膜の物性値を求めたところ、14.1 kG (1.41 T) の飽和磁化、0.6 Oe (47.75 A / m) の磁化容易軸方向の保磁力、0.7 Oe (55.76 A / m) の磁化困難軸方向の保磁力が、それぞれ、得られた。

また、1 GHz における透磁率の実数部 (μ') は600であり、1 GHz での性能指数 Q ($Q = \mu' / \mu''$) は12の値が得られた。

【0083】

〔実施例17〕

上記実施例10において、Fe - C層の炭素濃度を5 at % から10 at % に変えた。それ以外は、上記実施例10と同様にして、本発明の複合磁性薄膜 (実施例17) を形成した。

20

上記の実施例に準じた方法によって、当該複合磁性薄膜の物性値を求めたところ、14.0 kG (1.40 T) の飽和磁化、0.6 Oe (47.75 A / m) の磁化容易軸方向の保磁力、0.7 Oe (55.76 A / m) の磁化困難軸方向の保磁力が、それぞれ、得られた。

また、1 GHz における透磁率の実数部 (μ') は750であり、1 GHz での性能指数 Q ($Q = \mu' / \mu''$) は12の値が得られた。

【0084】

〔実施例18〕

上記実施例10において、Co系非結晶質合金層の組成である $\text{Co}_{87}\text{Zr}_5\text{Nb}_8$ を、 $\text{Co}_{89}\text{Zr}_6\text{Ta}_5$ に変えた。それ以外は、上記実施例10と同様にして、本発明の複合磁性薄膜 (実施例18) を形成した。

30

上記の実施例に準じた方法によって、当該複合磁性薄膜の物性値を求めたところ、14.4 kG (1.44 T) の飽和磁化、0.6 Oe (47.75 A / m) の磁化容易軸方向の保磁力、0.7 Oe (55.76 A / m) の磁化困難軸方向の保磁力が、それぞれ、得られた。

また、1 GHz における透磁率の実数部 (μ') は520であり、1 GHz での性能指数 Q ($Q = \mu' / \mu''$) は15の値が得られた。

【0085】

〔実施例19〕

上記実施例10において、Co系非結晶質合金層の組成である $\text{Co}_{87}\text{Zr}_5\text{Nb}_8$ を、 $\text{Co}_{80}\text{Fe}_9\text{Zr}_3\text{B}_8$ に変えた。それ以外は、上記実施例10と同様にして、本発明の複合磁性薄膜 (実施例19) を形成した。

40

上記の実施例に準じた方法によって、当該複合磁性薄膜の物性値を求めたところ、15.0 kG (1.50 T) の飽和磁化、0.6 Oe (47.75 A / m) の磁化容易軸方向の保磁力、0.7 Oe (55.76 A / m) の磁化困難軸方向の保磁力が、それぞれ、得られた。

また、1 GHz における透磁率の実数部 (μ') は530であり、1 GHz での性能指数 Q ($Q = \mu' / \mu''$) は17の値が得られた。

50

【 0 0 8 6 】

これらの結果を含めた測定値を表 2 にまとめて示した。

表 2 に示すように、本発明による各実施例は、1 . 4 T 以上の飽和磁化、1 . 5 G H z 以上の共鳴周波数、5 . 0 以上の Q 値を得ることが可能である。この中で、T 1 が 0 . 5 ~ 3 . 0 n m の範囲、かつ T 1 / T 2 が 0 . 8 ~ 3 . 0 の範囲にある実施例 1 0 ~ 1 3、1 6、1 7、1 8 および 1 9 は 1 . 4 T 以上の飽和磁化、2 . 0 G H z 以上の共鳴周波数、1 0 . 0 以上の Q 値を得ることができる。

【 0 0 8 7 】

【表 2】

	磁性薄膜構成	T1 (nm)	T1/T2	飽和磁化 (T)	共鳴 周波数(GHz)	μ' (at 1GHz)	μ'' (at 1GHz)	Q (at 1GHz)	比抵抗 ($\mu\Omega\text{cm}$)	保磁力 $H_{ce}(\text{Oe})$
実施例 10	(1.0nm CoZrNb/1.0nm Fe-C ₅) × 250	1.0	1.0	1.43	>>2.0	515	35	15	150	0.6
実施例 11	(1.5nm CoZrNb/1.5nm Fe-C ₅) × 170	1.5	1.0	1.55	~2.0	720	55	13	130	0.6
実施例 12	(1.0nm CoZrNb/2.0nm Fe-C ₅) × 170	2.0	2.0	1.48	>>2.0	590	25	24	145	0.7
実施例 13	(1.0nm CoZrNb/2.8nm Fe-C ₅) × 20	2.8	2.8	1.50	>>2.0	550	25	22	140	0.8
実施例 14	(0.8nm CoZrNb/2.8nm Fe-C ₅) × 140	2.8	3.5	1.58	>>2.0	400	25	16	140	0.9
実施例 15	(2.0nm CoZrNb/1.0nm Fe-C ₅) × 170	1.0	0.5	1.39	1.7	755	130	6	125	0.6
比較例 5	(1.0nm CoZrNb/1.0nm Fe) × 250	—	—	2.07	—	150	—	—	70	4.2
実施例 16	(1.0nm CoZrNb/1.0nm Fe-C ₇) × 250	1.0	1.0	1.41	>2.0	600	50	12	140	0.6
実施例 17	(1.0nm CoZrNb/1.0nm Fe-C ₁₀) × 250	1.0	1.0	1.40	~2.0	750	60	12	130	0.6
実施例 18	(1.0nm CoZrTa/1.0nm Fe-C ₅) × 250	1.0	1.0	1.44	>>2.0	520	35	15	150	0.6
実施例 19	(1.0nm CoFeZrB/1.0nm Fe-C ₅) × 250	1.0	1.0	1.50	>>2.0	530	30	17	140	0.6

【 0 0 8 8 】

(実施例 2 0 ~ 2 7)

薄膜形成用のターゲットを以下のものとする以外は実施例 1 と同様にして、表 3 に示す磁

10

20

30

40

50

性薄膜を形成するとともに、その磁気特性等の物性値を測定した。その結果を表3にあわせて示す。

磁性薄膜がFe-Co-C₅膜を含むものは、Fe₇₀Co₃₀ターゲット上にC(炭素)ペレットを配置した複合ターゲットを用いた。また、Fe-B₅膜を含むものはFe₉₅B₅合金ターゲットを、また、Fe-Co-B₅膜を含むものはFe₆₅Co₃₀B₅合金ターゲットを用いた。Fe-C₅N₅膜を含むものはFeターゲット上にCペレットを配置した複合ターゲットを用いたスパッタリング中にN(窒素)ガスを導入し、また、FeCo-C₅-N₅膜を含むものはFe₇₀Co₃₀ターゲットの上にCペレットを配置した複合ターゲットを用いたスパッタリング中にN(窒素)ガス導入することで作製した。

【0089】

【表3】

	磁性薄膜構成	T1 (nm)	T1/T2	飽和磁化 (T)	異方性磁界 (Oe)	共鳴 周波数(GHz)	μ' (at 1GHz)	μ'' (at 1GHz)	Q (at 1GHz)	比抵抗 ($\mu\Omega\text{cm}$)	保磁力 Hce(Oe)
実施例 20	(20nm CoZrNb/5nm FeCo-C ₅) × 20	5	0.25	1.65	45	>>2.0	420	30	14	91	1.3
実施例 21	(20nm CoZrNb/5nm Fe-B ₅) × 20	5	0.25	1.50	45	>>2.0	400	30	13	90	1.1
実施例 22	(20nm CoZrNb/5nm Fe-Co-B ₅) × 20	5	0.25	1.62	43	>>2.0	410	35	12	88	1.2
実施例 23	(20nm CoZrNb/5nm Fe-C ₅ -N ₅) × 20	5	0.25	1.51	40	>>2.0	420	35	12	93	1.0
実施例 24	(20nm CoZrNb/5nm Fe-Co-C ₅ -N ₅) × 20	5	0.25	1.62	40	>>2.0	400	25	16	92	1.1
実施例 25	(20nm CoZrNb/5nm FeCo-C ₂ -B ₂) × 20	5	0.25	1.62	43	>>2.0	410	35	12	89	1.1
実施例 26	(20nm CoZrNb/2nm FeCo-C ₅) × 20	2	0.10	1.51	42	>>2.0	380	30	13	85	1.0
実施例 27	(10nm CoZrNb/40nm FeCo-C ₅) × 20	40	4.00	1.80	102	>>2.0	350	30	12	48	1.9

表 3 の実施例 20 に示すように、第 1 の膜を Fe - Co - C₅ 膜とすることにより、Fe - C₅ 膜を第 1 の膜とする実施例 1 に比べて、飽和磁化および透磁率の実数部が向上することがわかる。

また、表 3 の実施例 21 ~ 25 から、第 1 の膜には C のみならず B および / または N を適用できることがわかる。

さらに、表 3 の実施例 20、26 および 27 を比較すると、特に優れた特性を得るためには、T1 および T1 / T2 を規制することが重要であることがわかる。

【0091】

【発明の効果】

上記の結果より本発明の効果は明らかである。すなわち、Co 系非結晶質合金層と T - L 組成物層とを積層した高周波用磁性薄膜は、高い飽和磁化を有するとともに、GHz の高周波帯域で高い透磁率および性能指数 Q を示すという優れた効果が発現する。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 本発明の高周波用磁性薄膜の断面図である。

【図 2】 Fe 系または Fe Co 系薄膜の結晶粒の状態を示す断面模式図である。

【図 3】 Fe - C 薄膜と Co 系非結晶質合金薄膜とを積層したときの Fe - C 薄膜の結晶粒の状態を示す断面模式図である。

【図 4】 図 3 の部分拡大断面図である。

【図 5】 厚さ T1 が 3 nm 以下の Fe - C 薄膜と Co Zr Nb 非結晶質合金薄膜とを積層した複合磁性薄膜の X 線回折結果を示す図である。

【図 6】 本発明の高周波用磁性薄膜が適用されたインダクタの一例を示す平面図である。

【図 7】 図 6 の A - A 矢視断面図である。

【図 8】 本発明の高周波用磁性薄膜が適用されたインダクタの他の例を示す断面図である。

【図 9】 本発明の高周波用磁性薄膜が適用されたインダクタの他の例を示す平面図である。

【図 10】 図 9 の A - A 矢視断面図である。

【図 11】 実施例 1 にて作成した複合磁性薄膜の磁化曲線である。

【図 12】 実施例 1 にて作成した複合磁性薄膜の高周波透磁率特性を示すグラフである。

【図 13】 実施例 2 にて作成した複合磁性薄膜の磁化曲線である。

【図 14】 実施例 2 にて作成した複合磁性薄膜の高周波透磁率特性を示すグラフである。

【図 15】 実施例 3 にて作成した複合磁性薄膜の磁化曲線である。

【図 16】 実施例 3 にて作成した複合磁性薄膜の高周波透磁率特性を示すグラフである。

【図 17】 実施例 5 にて作成した複合磁性薄膜の透過型電子顕微鏡による断面像を示す。

【図 18】 実施例 10 にて作成した複合磁性薄膜の磁化曲線である。

【図 19】 実施例 10 にて作成した複合磁性薄膜の高周波透磁率特性を示すグラフである。

【図 20】 実施例 11 にて作成した複合磁性薄膜の磁化曲線である。

【図 21】 実施例 11 にて作成した複合磁性薄膜の高周波透磁率特性を示すグラフである。

【図 22】 実施例 12 にて作成した複合磁性薄膜の磁化曲線である。

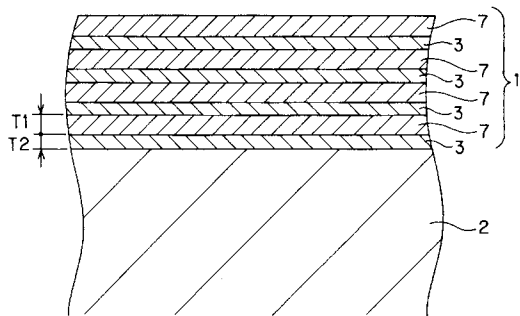
【図 23】 実施例 12 にて作成した複合磁性薄膜の高周波透磁率特性を示すグラフである。

【符号の説明】

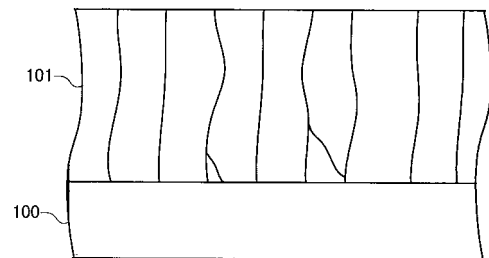
1, 1a, 1b ... 高周波用磁性薄膜、2, 11, 21, 31 ... 基板、3 ... Co 系非結晶質

合金層、 7 ... T - L 組成物層、 1 0 , 2 0 , 3 0 ... インダクタ

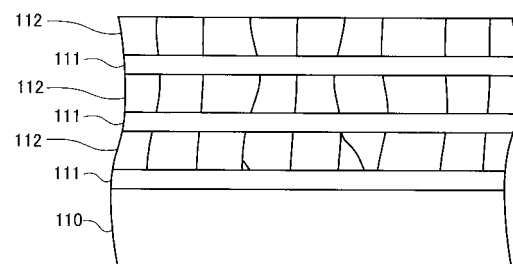
【図 1】



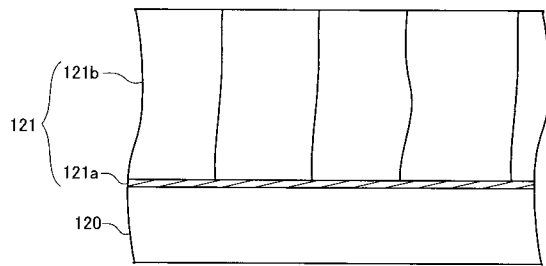
【図 2】



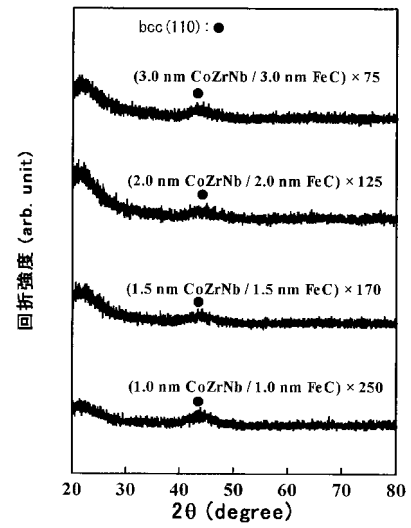
【図 3】



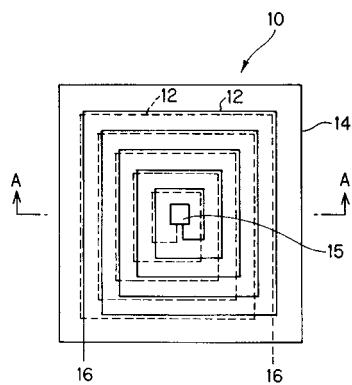
【図 4】



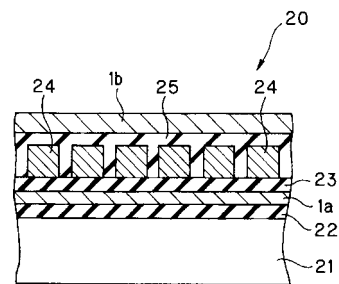
【図 5】



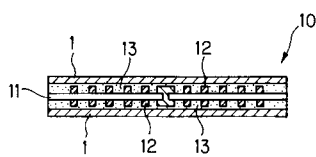
【図 6】



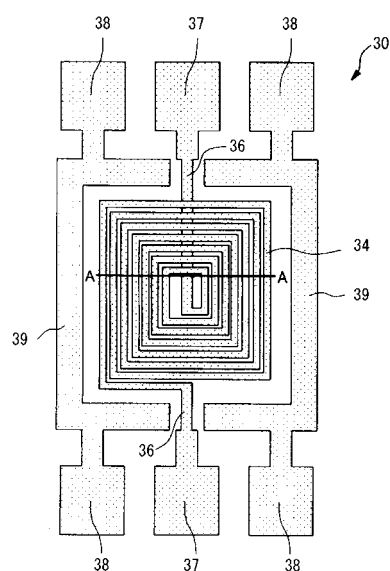
【図 8】



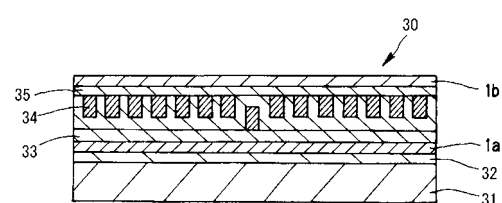
【図 7】



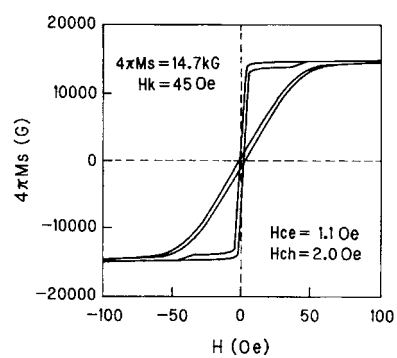
【図 9】



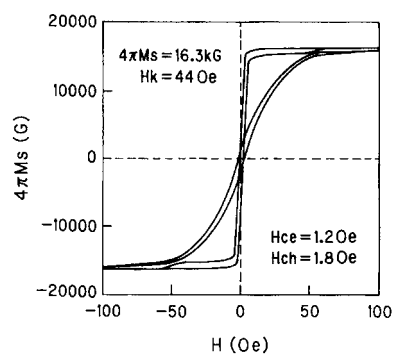
【図 10】



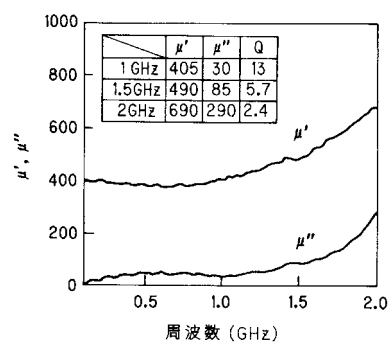
【図 11】



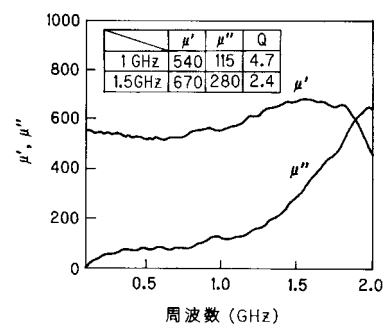
【図 13】



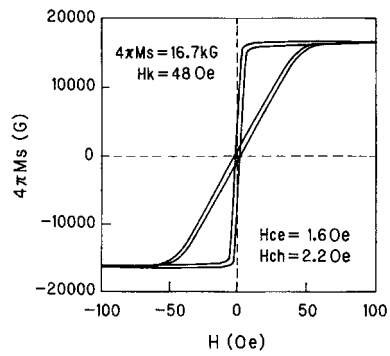
【図 12】



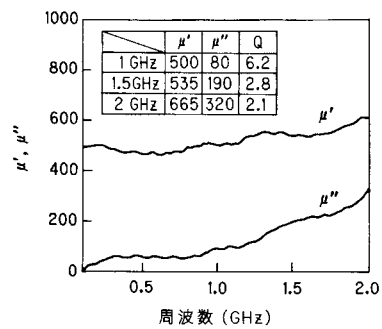
【図 14】



【図 15】



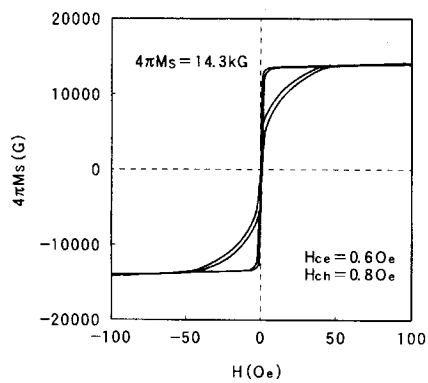
【図 16】



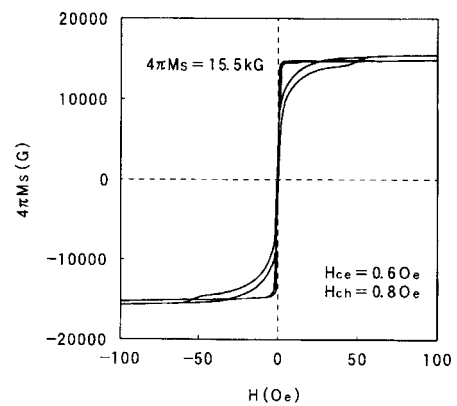
【図 17】



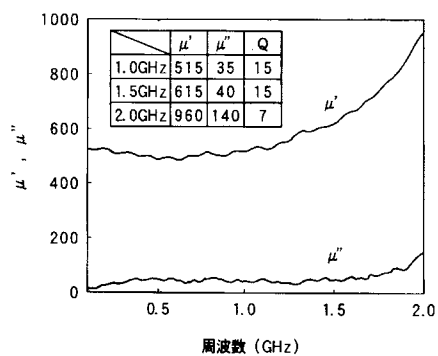
【図 18】



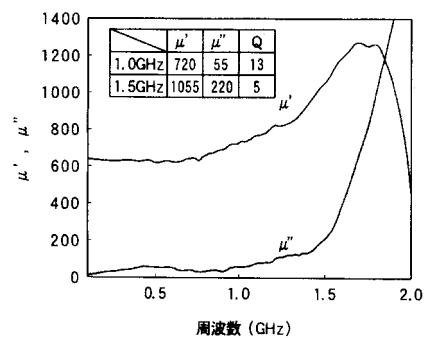
【図 20】



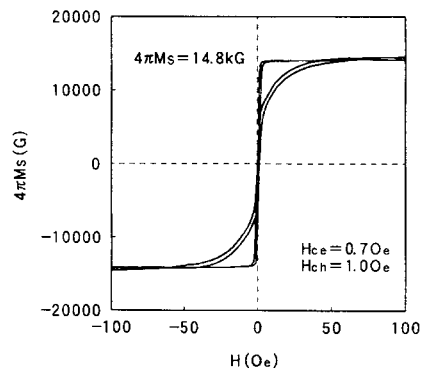
【図 19】



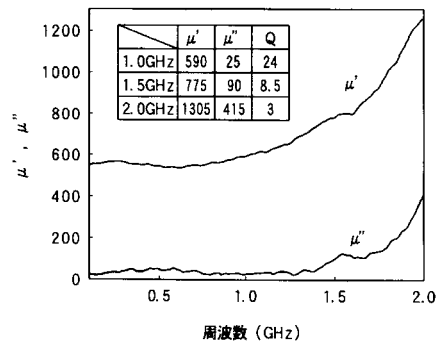
【図 21】



【図 2 2】



【図 2 3】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開平06-069032(JP,A)
特開昭63-065604(JP,A)
特開平06-013236(JP,A)
特開平02-143510(JP,A)
特開2000-054083(JP,A)
特開2001-143929(JP,A)
特開平07-029732(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01F 10/00

H01F 17/00

H01L 27/00