

平成21年 3月31日現在

研究種目：基盤研究 (C)
 研究期間：2006-2008
 課題番号：18560319
 研究課題名 (和文) 10 GHz 超で動作するマイクロ波電磁界収束ハイブリッド薄膜材料の開発
 研究課題名 (英文) Development of hybrid thin film materials for converging micro-wave electric and magnetic field with driving at more than 10 GHz

研究代表者
 宗像 誠 (MUNAKATA MAKOTO)
 崇城大学・情報学部・教授
 研究者番号：10183112

研究成果の概要：10GHz 超のマイクロ波の電磁界を収束する材料の開発を目的として、CoFeB および CoFe 磁性薄膜を回転電極型スパッター法により試作した。その結果、10GHz 超の高周波透磁率特性を有する磁性膜を得、さらにこれを誘電体 (ポリイミド膜、SiO₂ 膜) と積層した結果、誘電率特性と透磁率特性のハイブリッド効果すなわち電磁界収束効果が確認された。これによって、マイクロ波集積回路 (MMIC) における伝送線路の短縮化、アンテナその他の LC 素子の集積化を実現する電磁界束材料の設計・製作が十分に可能であることが明らかにされた。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	1,700,000	0	1,700,000
2007年度	800,000	240,000	1,040,000
2008年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	480,000	3,780,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気・電子工学・電気・電子材料工学

キーワード：10GHz 超，マイクロ波，電磁界収束材料，磁性膜，誘電体膜，集積回路

1. 研究開始当初の背景

これまでの GHz 帯薄膜磁性材料は、誘電体コンデンサーとは別にデバイス化され、MMIC への集積化 LC デバイスの試作に用いられていた。もし、LC 成分を共有 (ハイブリッド) 化して電磁界を収束する材料ができれば、伝送線路や MMIC デバイスの (半導体チップ上に LC 素子を構成したもの) 集積化が初めて実現できる。従来用いられてきたガーネット材料は、比透磁率が 1 程度で薄膜化も容易ではないため、集積化は不可能であった。また、高温超伝導体も電磁界収束効果が GHz 帯で

期待できるが、液体窒素温度に冷却する必要があるため、現今では半導体チップに集積化することは不可能であった。

以上の背景の中、最近本研究者らは 2～数 GHz で動作する磁性薄膜材料の開発に成功し、その研究成果を受けて本科研費の研究目的の提案に至っている。すなわち、さらに高い周波数 10 GHz 超では、デバイス内の伝送において磁性材料の透磁率のほかに誘電率も影響するため、透磁率成分のほかに誘電率成分をハイブリッド化した新材料が必要になる。[磁性体/誘電体]ハイブリッド積層構

造膜はそのための一つの形態であり、GHz帯電磁界の収束性について物性工学的な面からも明らかにする必要がある。

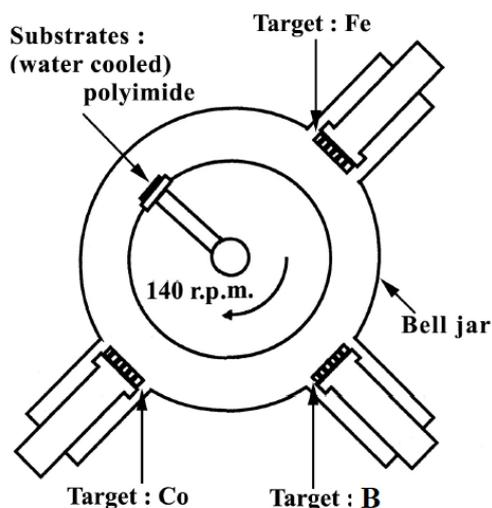


図3 製膜装置を上方から見た構造

2. 研究の目的

筆者らの世界最高の強磁性共鳴周波数(FMR) 6 GHz を達成した(CoFeB)系ナノ結晶膜の磁気共鳴(FMR)周波数を、さらに高い10 GHzに引き上げ、共鳴損失がさらに低い超高周波透磁率特性をもつ磁性膜の試作開発を行う。

上記研究で得られた磁性膜を用い、[磁性膜/誘電体膜]積層構造の、すなわち、インダクタンス(高周波透磁率)・キャパシタンス(高周波誘電率)をハイブリッド化したマイクロ波電磁界収束材料を試作開発する。

さらに開発材料を用いてMMIC集積化デバイスを試作し、材料の新しい機能と有効性を実証することを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 薄膜磁性材料の開発

10 GHz超の動作周波数を得るためには、薄膜の異方性磁界(一軸磁気異方性)を現状の2-3倍に引き上げ、飽和磁化を20 kG程度以上の高飽和磁化にする必要がある。そのため、高飽和磁化を有するCoFeにBを添加し、B量に依存する一軸磁気異方性の出現と結晶格子定数や配向との相関を探索した。製膜方法は、いわゆるカルセール型(円筒電極型RFマグネトロンスパッタ)のスパッタ装置を用いた。

Fig.1は製膜装置を上方から見た構造を示す。この装置では、円筒型のカソード電極の側面に基板が配置され、円筒の中心軸を回転

軸として水冷された基板が電極とともに回転する。三元の各ターゲットは円筒電極の側面と対抗した配置をとり、それらのターゲットからのスパッタ原子が、円筒電極の高速回転によって、基板の上に混合しながら堆積する。円筒電極は原子一層分堆積する間に4回以上回転(100 r.p.m.以上)するように調節し、スパッタ原子ができるだけ一様に混ざり合いながら堆積されるようにしている。

さらに、下地層に対する磁気特性、結晶構造などへの影響を調べた。

(2) 誘電体薄膜の作製

誘電体膜は、化学量論的原子組成が実現できるプラズマ支援型スパッタ法を用いて試作した。磁性薄膜との積層構造を構成する前の形成方法について検討した。

(3) [磁性膜/誘電体膜]積層構造ハイブリッド膜の製作

得られた誘電体膜上に対磁性膜の下地層を施し、後に開発の磁性膜を積層化した。誘電体膜には、ポリイミド、SiO₂を用いた。高周波透磁率特性については高周波パーミタメータ(PMM-9G1: Ryowa-densi)を用い、電界の影響を打ち消しながら測定した。誘電率特性についてはAgペースト/ポリイミド誘電体膜/Al板からなる平行平板キャパシタを試料として実測を行った。測定にはインピーダンスマテリアルアナライザ(HP4291A)を用いた。

(4) [磁性膜/誘電体膜]積層構造ハイブリッド膜の動作検証

ハイブリッド材料の動作試験は、関連試作MMIC用磁気デバイス(伝送線路、方向性結合器)などの動作試験において検証した。磁気デバイスの入出力は試作デバイスの特性評価では、高周波ネットワークアナライザ(ADVANTEST: R3767CG), RF-GSGデュアルプローブ(GGB: 40A-GSG-300/40A-GSG-300-D-700)およびマイクロ波テストテーブル(NPS: GT-1000R)を用いてSパラメータを測定した。

4. 研究成果

(1) CoFeB 磁性薄膜の開発

GHz帯域で透磁率特性を示す軟磁性薄膜には、磁束収束効果や電磁波ノイズの吸収効果があることが知られており、近年これらの効果を利用したMMIC(Monolithic Micro-wave Integrated Circuit)用のマイクロ磁気デバイスおよび軟磁性薄膜材料の開発研究が行われている。高周波用軟磁性薄膜

材料の開発においては、強磁性共鳴損失の急増が障害となり、数 GHz の動作周波数を確保するには強磁性共鳴周波数を少なくとも動作周波数の2-3倍程度に引き上げる必要がある。これに対応して磁性薄膜に23 kG程度の高飽和磁化と数100 Oe以上の大きな一軸異方性磁界を付与する必要がある。さら一軸磁気異方性についてはマイクロな領域で分散が無く、困難磁化軸方向の磁化曲線が数 Oe程度の低保磁力を示し、一様な磁化回転を促すことが必要になる。

これまでに、斜め入射スパッタ法で作製した CoFeB 膜に下地層の効果を利用して低保磁力化し、異方性磁界 300- 450 Oe を得た報告、および FeSi/ Ru 交換磁気異方性膜で相当の異方性磁界を得た報告などがあるが、数100 Oe を超える異方性磁界はまだ得られていない。最近、著者らは、6-13at.%の低 B 濃度領域において CoFeB 膜が 400- 760 Oe の大きな H_k を示すことを報告し、膜中の B が H_k と関連していることを明らかにした。

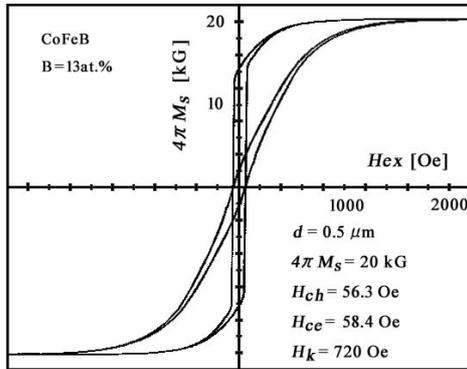


図1 $H_k = 700$ Oe 膜の $M-H$ 曲線

Fig.1 に一例として $H_k = 700$ Oe 膜の $M-H$ 曲線を示す。一見してわかるように、その軟磁性は良好ではなく、保磁力は数十 Oe にもおよび、静磁化曲線においても異方性磁化軸から分散した磁化が存在することから、良好な高周波透磁率特性を得るためには、更なる異方性の一軸化を取り組む必要があった。

この課題に対して、円筒電極型マグネトロンスパッタ法により $(\text{Co}_{35}\text{Fe}_{65})_{87}\text{B}_{13}$ 膜をガラス基板および Ru 下地層上に作製し、それらの膜の静磁気特性、結晶構造に対する下地層の影響を調べた。

基板上に直接製膜した CoFeB 単層膜 (図1) の異方性磁界(760Oe), 保磁力(56 Oe)に対し, CoFeB/Ru 二層膜 (図2) では 580 Oe の異方性磁界と, 30e 程度の低保磁力が観測された。この静磁気特性は、これまでの実測理論から、磁気共鳴周波数が 9 GHz 超であると期待される。

図3に示すように下地層の効果は下地層の厚さに依存して変化し、特に下地層の厚

さ 20-40 Å 範囲で顕著に現れた。この効果の発現に伴って図4に示すように、bcc CoFe 格子の一方向について bcc 格子の1.0-2.0%程度の伸びと(110), (220)面の膜面内配向が観測された。

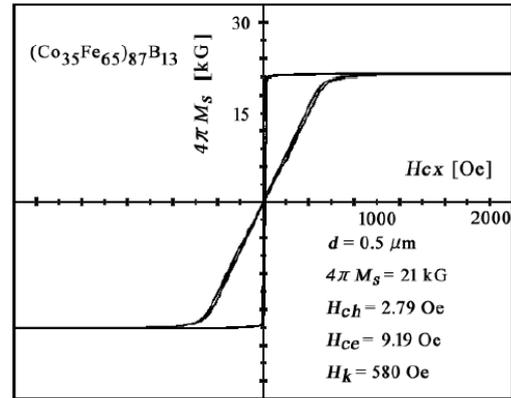


図2 厚さ 20 Å の Ru 下地層に作製し $(\text{Co}_{35}\text{Fe}_{65})_{87}\text{B}_{13}$ 膜の $M-H$ 曲線

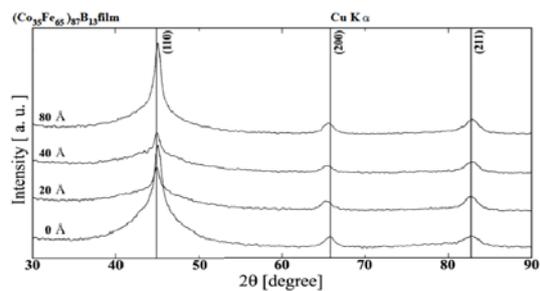


図3 $(\text{Co}_{35}\text{Fe}_{65})_{87}\text{B}_{13}$ 膜の 2θ スキャン XRD パターンにおける Ru 下地層の効果

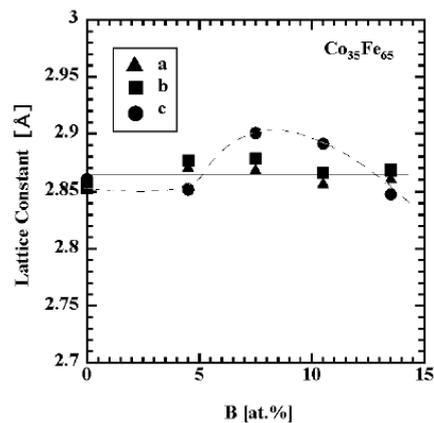


図4 CoFe 格子定数の B 量依存性

以上 10GHz 近傍の磁気共鳴周波数を得るためには、Ru 下地層が GHz 帯用磁性膜の一軸異方性と軟磁気特性の改善に有効であることがわかった。

B. CoFe 磁性膜の開発

CoFe 膜への B 元素の添加効果が異方性磁界や GHz 帯軟磁性について有効である一方、下地層の効果も複合した結果であったため、下地層の効果のみを CoFe 膜について探査した。

図 5 に CoFe 単層膜(a)と Ru 下地層の厚さ 20\AA の CoFe/Ru 二層膜(b)における M-H 曲線を示した。

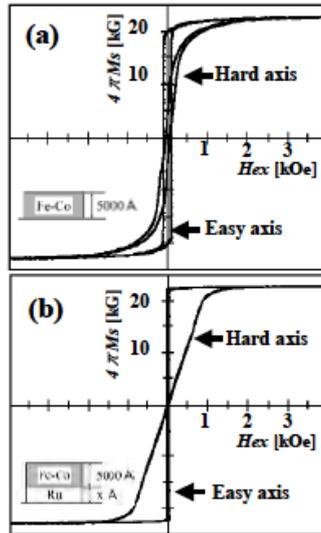


図 5 CoFe 単層膜(a)と Ru 下地層の厚さ 20\AA の CoFe/Ru 二層膜(b)における M-H 曲線

同図(b)において、10 GHz 以上の強磁性共鳴周波数が期待できる約 1000 Oe の大きな面内一軸磁気異方性磁界と、10 Oe 以下の低保磁力が得られ、下地層が GHz 帯用磁性膜の一軸異方性と軟磁気特性の改善に大きな効果があることがわかった。基板上に直接製膜した同図(a)の CoFe 単層膜の異方性磁界(350 Oe)、保磁力(56 Oe)に比べ、CoFe/Ru 二層膜では約 3 倍程度の大幅な異方性磁界の増加と、数分の一以下(10Oe 以下)の低保磁力が観測された。下地層の効果は下地層の厚さに依存して変化し、特に下地層の厚さ $10\text{--}30\text{\AA}$ 範囲で顕著に現れることがわかった。

さらに図 4 の結果と同様に、B を添加しない場合においても CoFe 格子定数の伸びとその配向が観測された。ただし、異方性の方向は 90 度方向に逆転し、さらに大きな磁気弾性効果をもたらしていることがわかった。

C. 磁性薄膜の高周波透磁率特性

図 6 に CoFe 薄膜の複素比透磁率の実部 μ_r' および虚部 μ_r'' の周波数特性を示す。当初の研究目的に沿った次世代の MMIC 素子に適用可能な特性(複素比透磁率の実部 μ_r'

$=20\text{--}30$) を示している。L.L.G. 方程式から予想される強磁性共鳴周波数は約 13 GHz の程度であるが、この測定では 9 GHz までしか測定できないため、共鳴周波数の確定は困難であるが、少なくとも 10GHz 超の共鳴周波数が実現されていると考えられる。現在まで、9 GHz 以上で直接透磁率特性を測定する方法は無く、伝送線路上のインダクタンスの変化から共鳴周波数を外挿によって求める方法が現在開発されつ

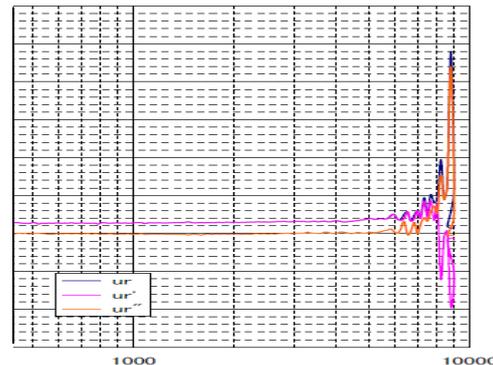


図 6 CoFe 薄膜の複素比透磁率の実部 μ_r' (a) および虚部 μ_r'' (b)の周波数特性

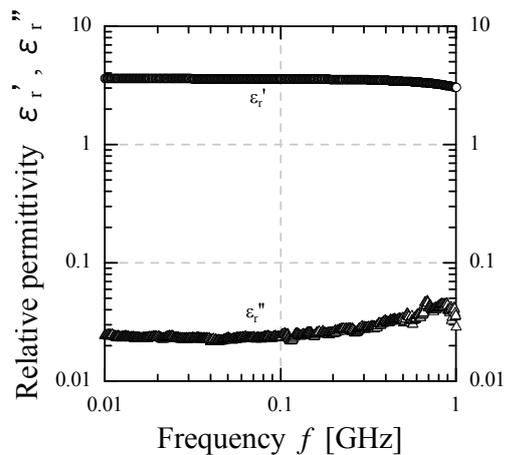


図 7 ポリイミド誘電体膜の複素比誘電率

つあるが、今後の詳しいスピンドYNAMIKS の解析が望まれる。

図 7 に、ポリイミド誘電体膜における複素比誘電率の周波数特性を示す。アルミ板上に $1\mu\text{m}$ 厚のポリイミド膜を成膜し、Ag ペーストを塗布した平行平板キャパシタを測定用試料としている。なお、測定にはインピーダンス/マテリアルアナライザ(HP4291A)、および誘電体テストフィクスチャ(HP16192A)を用いた。同図より、ポリイミド誘電体膜の誘電率の実部 ϵ_r' は周波数に対して平坦な特性となっており、3.5 程度であることがわかる。また、誘電率の虚部 ϵ_r'' は 10^{-2} オーダ

である。

同様の方法で SiO₂ 膜についても測定を行った結果、誘電率の実部 ϵ_r' は周波数に対して平坦な特性となっており、2.0 程度、また誘電率の虚部 ϵ_r'' は 10⁻² オーダであった。誘電体膜についても、1-10 GHz までの検証については、絶対値の校正に困難があり割愛した。これらの膜の誘電率は磁性膜の透磁率に比べて 1/30-1/10 の程度であるが、面内の異方性は磁性膜と異なりほとんど無く、また 10GHz 超まで ϵ_r' および ϵ_r'' は一定であることが見込まれる。両材料のハイブリッド化では、マイクロ波において $1/(\mu\epsilon)^{1/2}$ の伝送効果が期待されると考えられる。

(4) ハイブリッド膜機能のデバイス化による検証

A. ハイブリッド薄膜コプレーナ伝送線路デバイス

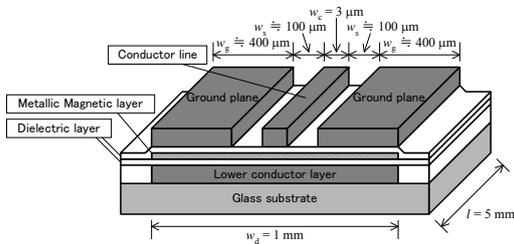


図 8 ハイブリッド薄膜コプレーナ伝送線路の構造

図 8 は試作したハイブリッド薄膜コプレーナ伝送線路の構造を示す。Table 1 には各部の設計寸法と各材料の物性値を示した。本構造は、下部導体層/下部誘電体層/金属磁性層/上部誘電体層/上部導体層の 5 層積層構造で、上部導体層の中心に導体ライン、その両側にグラウンドプレーンを配置したコプレーナ線路である。導体層には Al 膜、誘電体層にはポリイミド膜、金属磁性層には CoFeB 膜を用いた。

Fig.9 は、1/4 波長デバイスの挿入損失 $L_{\lambda/4}$ およびその線路長 $\lambda/4$ の周波数特性を示す。1/4 波長デバイスの線路長 $\lambda/4$ は、周波数にはほぼ反比例し短くなる。一方、1/4 波長デバイスの挿入損失 $L_{\lambda/4}$ は、周波数 2 ~ 3 GHz 付近で最小値（線路長 7mm、で挿入損失 2.9 dB）を持つ周波数特性を示している。以上の結果は、ハイブリッド電磁界収束材料が伝送線路の短縮効果をもたらすことを証明したものであり、その電磁界収束効果の有効性が認められた。

B. マイクロ方向性結合器

図 10 はハイブリッド伝送線路型方向性結合

器の模式図を示す。従来の伝送線路型方向性結合器では、主線路および副線路のスペーシングを近接させることで線路間の磁界結合を調整し、また外部に電界結合用キャパシタを別個に接続することで電界結合を調整するのが一般的である。これに対してこのハイブリッド伝送線路型方向性結合器では、線路スペーシングを広くとることで電磁界結合を分離する構造としている。両線路間の磁界結合に寄与する磁束は磁性膜に集中するため、線路スペーシングを広くしても磁界結合の低下を抑制できる。また、結合線路の入力端 (port 1-port 3) および出力端 (port 2-port 4) に電界結合容量スタブ (114 × 114 μm²) を組み込み、これを主線路-副線路間の電界結合として構成されている。これにより電界結合の強度はスタブの面積で調整することが可能となり、114 μm 角のスタブ 1 個あたりの容量は約 0.4 pF となる。上記構造は集中定数型 LC 方向性結合器に分類される。

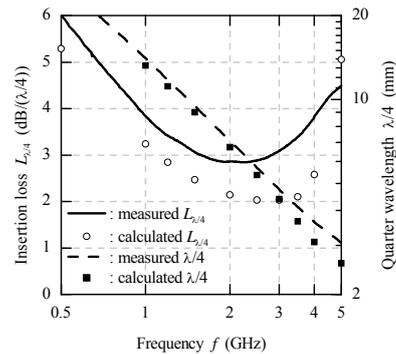


図 9 1/4 波長デバイスの挿入損失 $L_{\lambda/4}$ およびその線路長 $\lambda/4$ の周波数特性

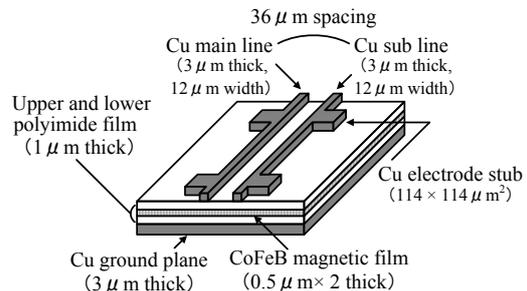


図 10 ハイブリッド伝送線路型方向性結合器の模式図

Fig.11 (a),(b)は、透過係数 S_{21} および結合度 S_{31} の周波数依存性および信号電力依存性をそれぞれ示す。 S_{21} は渦電流損失のため周波数

が高くなると減衰するが、信号電力についてはほとんど依存せず、実用化仕様を満足する範囲にある。 S_{31} についても同様に信号電力に依存せず、周波数の増加とともに増加しており、この場合も図に示すように実用化仕様範囲にあり、方向性結合器の機能が実現していることがわかる。上記の結果を、透過係数 S_{21} および結合度 S_{31} の電力依存性として表した結果を Fig.12 (a),(b)に示す。 S_{21} および S_{31} ともに、2-4GHzにおいて特性変化はほとんど無く、 S_{21} においては渦電流損失の影響、 S_{31} においては変位電流の影響が抑制されている。以上の結果は、磁性薄膜が大信号特性(0.5~2 W)においても有効に機能しており、集中定数回路モデルの計算結果と一致して、デバイス線路長の短縮、広帯域化ができることを示している。

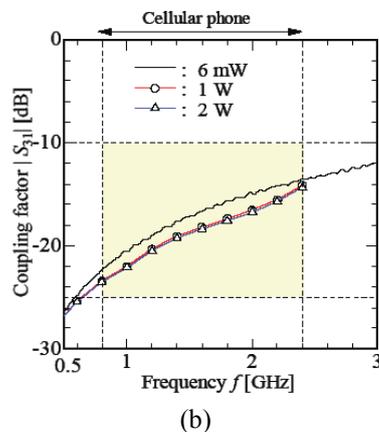
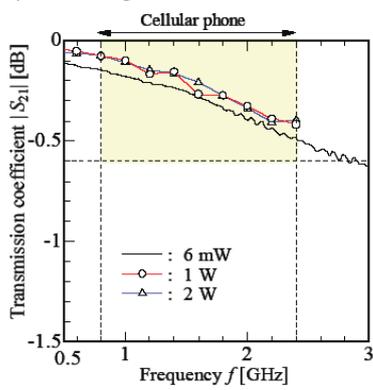


図 11 透過係数 S_{21} および結合度 S_{31} の周波数依存性および信号電力依存性

以上の結果、FeCoB膜と誘電体膜のハイブリッド構造材料において、誘電率特性と透磁率特性のハイブリッド効果すなわち電磁界収束効果が確認された。これによって、マイクロ波集積回路(MMIC)における伝送線路の短縮化、アンテナその他のLC素子の集積化を実現する電磁界束材料の設計・製作が十分に可能であることが明らかにされた。電磁界収束材料のさらなる可能性が実証された。

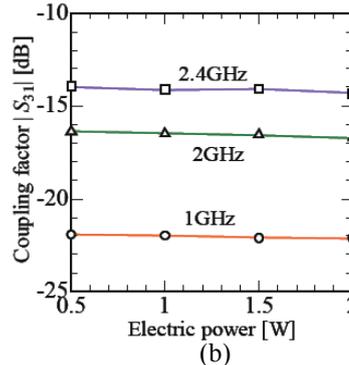
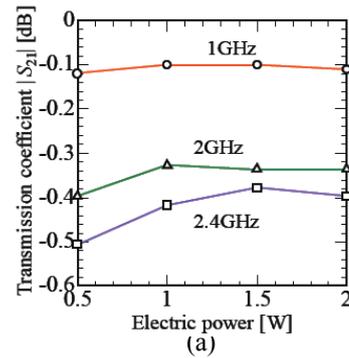


図 12 S_{21} および S_{31} ともに、2-4GHz において特性変化

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 15 件)

- ① 宗像誠, 今泉良一, 大越正敏, 榎孝一郎, スパッター粒子堆積シミュレーションによるFeCoB膜の異方性磁界の検討, MAG-08, pp.199-pp.204, 2008 査読無し
- ② 宗像誠, 大越正敏, 榎孝一郎, Fe₆₅Co₃₅薄膜の結晶配向と磁気特性, The Papers of Technical Meeting on Magnetism, IEE Japan, MAG-08, pp.88-94, 2008 査読無し
- ③ A.A.Timpheev, P.A.Grishin, and M.Munakata, The Influence of Intergranular Interaction on the Magnetization of the ensemble of Oriented Stoner-Wohlfarth nanoparticles, J.App.Phys.Vol. 105, 083905(pp.1-pp.6) 査読有
- ④ A.A.Timpheev, P.A.Grishin, and M.Munakata, Effect of Interaction in the Magnetization Reversal Relaxation of Superparamagnetic Granular CoFeB-SiO₂ Films, Solid State Phenomena, Vol.152, pp.213-216, 2009 査読有
- ⑤ 水田創, 佐藤敏郎, 山沢清人, 三浦義正, 三宅裕子, 秋江正則, 上原裕二, 宗像誠, 携帯電話用CoFeB磁性薄膜方向性結合器

- の大振幅信号伝送特, J. Mag. Soc. Jpn. vol.32, No.3 pp.376-381, 2008 査読有
- ⑥ 渡辺剛, 角保延寿, 古野達也, 大越正敏, 宗像誠, 高異方性磁界CoFeB薄膜の磁壁移動特性, J. Magn. Soc. Jpn, vol. 32, No.3. pp.370-pp.373, 2008 査読有
- ⑦ M. Takezawa, A. Shiota, I. Y. Morimoto, J. Yamasaki, and M. Munakata, J. Appl. phys., vol.103, 07E pp.723-p.726, 2008
- ⑧ 宗像誠, 牛水 紘貴, 榎 孝一郎, 大越正敏, Bを添加したCoFe膜の異方性磁界におけるRu下地層の効果, The Papers of Technical Meeting on Magnetism, IEE Japan MAG-07, pp.46-pp.50, 2007 無査読
- ⑨ 宗像誠, 青木 振一, 大越正敏, 川崎仁晴, 大島多美子, 植松卓彦, CoFe膜の異方性磁界におけるRuおよびCu下地層の影響, The Papers of Technical Meeting on Magnetism, IEE Japan MAG-07, pp.46-pp.50, 2007 無査読
- ⑩ T. Watanabe, M. Munakata, and M. Ohkoshi, Characteristics of domain wall motion in CoFe films for GHz frequency application, Phys.stat.sol.(a)204, No.12, pp.3983-3986, 2007
- ⑪ M. Munakata, O. Zaima, S. I. Aoqui, M. Ohkoshi and H. Kawasaki, Nano underlayer effect on the CoFe films for the GHz frequency use, Transition of the Material Research Society of Japan, Vol.32-2, pp.485-pp.488, 2007 査読有
- ⑫ X.T.Gao, Y.Nagaiie, H.Kawasaki, S.I.Aoqui, M.Munakata, and M.Ohkoshi, Perpendicular Magnetic Anisotropy in Ni/Pt Quadrilayers, J. Magn. Soc. Jpn. Vol. 31, pp.81-84 (2007) 査読有
- ⑬ K.Takizawa, M.Nakazawa, T.Sato, K.Yamasawa, Y.Miura, Y.Miyake, M.Akie, Y.Uehara, M.Munakata, Analysis of Directional Couplare Using Magnetic /Directional Hybride Transmission Line for Cellar Phone, IEEE Asia-Passific Microwave Conf. Proc. & Paper pp.1384 -1387, 2007
- ⑭ K.Takizawa, M.Nakazawa, T.Sato, K.Yamasawa, Y.Miura, Y.Miyake, M.Akie, Y.Uehara, M.Munakata, Analysis of a Directional Coupler Using Magnetic/Dielectric Hybrid Transmission-Line for Cellular Phone, IEEE Asia-Pacific Microwave Conference. proc. & paper, vol.2 pp.1384-1387, 2006, 査読有
- ⑮ H.Nakayama, T.Yamamoto, Y.Mizoguchi, M.Nakazawa, T.Sato, K.Yamasawa, Y.Miura, Y.Miyake, M.Akie, Y.Uehara, M.Munakata, Suppression of Insertion Loss by Slit-patterning of Magnetic Film in a CoFeB/Polyimide Hybrid Thin-Film Coplanar-Line for a RF Impedance Matching Device, J. Apple. Phys. Vol. 99, pp.2344-2348, 2006, 査読有
- [学会発表] (計22件)
- ① 今泉良一, 宗像誠, 大越正敏, 榎孝一郎, 高異方性磁界を持つCoFeB膜の膜形成過程における入射スパッター粒子の検討, 電気学会全国大会, 2-146, 北海道, 3月2009
- ② 宗像誠, 今泉良一, 大越正敏, 榎孝一郎, スパッター粒子堆積シュミレーションによるCoFeB膜の異方性磁界の検討, 電気学会マグネティクス研究会, MAG-08-199, 仙台 12月2008
- ③ 宗像誠, 大越正敏, 榎孝一郎, CoFe膜の高周波透磁率に及ぼす結晶配向の影響, 日本磁気学会, 12pF-2, 仙台, 9月2008
- ④ 宗像誠, 大越正敏, 榎孝一郎, FeCo薄膜の結晶配向と磁気特性, 電気学会マグネティクス研究会, MAG-08-88, 富山, 8月2008
- ⑤ A.A.Timpheev, P.A.Grishin, and M. Munakata, Effect of Interaction in the Magnetization Reversal Relaxation of Superparamagnetic Granular CoFeB-SiO2 Films, Moscow International Symposium on Magnetism, Moscow Jun 2008
- ⑥ M.Munakata, M.Masatoshi, K.Maki, M.Sonehara, K.Ikeda, T.Sato, Crystalline orientation of Co35Fe65 thin film for the GHz frequency use with more than 10GHz, 6th International Workshop on High Frequency Micromagnetic Devices and Materials, 09p-2, Madrid Spain, May 2008
- ⑦ 宗像誠, 牛水 紘貴, 榎 孝一郎, 大越正敏, Bを添加したCoFe膜の異方性磁界におけるRu下地層の効果, 電気学会マグネティクス研究会, MAG-07-46, 仙台, 2007
- ⑧ 宗像誠, 青木振一, 大越正敏, 他3名, CoFe膜の面内一軸異方性磁界に及ぼすRu, NiFe下地層の影響, 14pF-13, 東京, 9月2007
- ⑨ 塩田篤史, 竹澤正晃, 山崎二郎, 宗像誠, 他1名, (Co-Fe-B)-(SiO2)グラニューラー薄

- 膜の磁区観察日本応用磁気学会, 11pF-13, 東京, 9月2007
- ⑩ 渡辺剛, 大越正敏, 宗像誠, 他2名, 高飽和磁化Co-Fe薄膜における地壁移動特性, 日本応用磁気学会, 11aG-6, 東京, 9月2007
- ⑪ 水田創, 佐藤敏郎, 宗像誠, 他6名, CoFeB磁性膜伝送線路方向性結合器の大振幅伝送特性, 日本応用磁気学会, 11pB-1, 東京, 9月2007
- ⑫ 宗像誠, 青木 振一, 大越正敏, 川崎仁晴, 大島多美子, 植松卓彦, CoFe膜の異方性磁界, 電気学会マグネティクス研究会, MAG-07-46, 南紀白浜, 2007
- ⑬ M. Takezawa, A. Shiota, Y. Morimoto, J. Yamasaki, and M. Munakata, Magnetic domains and magnetization process of amorphous granular (CoFeB)-SiO₂ thin films, 3M conf. in Tampa, USA, Nov. 2007
- ⑭ T. Watanabe, M. Munakata, and M. Ohkosh Characteristics of domain wall motion in CoFe films for GHz frequency use, ISAMMA, MP-03, Jeju Iland, Korea, May, 2007
- ⑮ M. Munakata, S.I. Aouqi, T. Ohshima, H. Kawasaki, and T. Uematsu, Coating effects of nano underlayer on the surface condition and crystalline structure of the CoFe magnetic thin film for the GHz frequency use. European Materials Research Society Spring Meeting, Strasbourg, France May 2007
Q-XIV2 (Symposium Q: Protective Coatings and Thin Films-07)
- ⑯ K. Takizawa, M. Nakayama, K. Sugiura, S. Mizuta, A. Hashimoto, T. Sato, K. Yamasawa, Y. Miura, Y. Miyake, Y. Uehara, M. Munakata, M. Yagi Fabrication of Magnetic Thin Film Directional coupler for mobile phones, 5th International Workshop on High Frequency Micromagnetic Devices and Materials, Tampa U.S.A, March. 2007
- ⑰ 宗像誠, 大越正敏, 青木振一ほか2名, CoFeBの異方性磁界に及ぼすRu下地層の影響, 本応用磁気学会, 13aG-2, 島根, 2006, 9月
- ⑱ 中沢政博, 佐藤敏郎, 宗像誠ほか8名, 磁性薄膜/誘電体膜積層ハイブリッド伝送線路方向性結合器の特性解析, 本応用磁気学会, 12aB-7, 島根, 2006, 9月
- ⑲ 中村匡芳, 辻本章, 宗像誠, 磁気ハイブリッドカップラーの研究, 本応用磁気学会, 12aB-5, 島根, 2006, 9月
- ⑳ 中山英俊, 佐藤敏郎, 宗像誠他9名, CoFeB金属磁性膜を用いたGHz薄膜スパイラル伝送線路デバイスの試作, 日本応

- 用磁気学会, 12aB-4, 島根, 2006, 9月
- 21) K. Takizawa, M. Nakazawa, T. Sato, K. Yamasawa, Y. Miura, Y. Miyake, M. Akie, Y. Uehara, M. Munakata, M. Yagi Analysis of a Directional Coupler Using Magnetic /Dielectric Hybrid Transmission -Line for Cellular Phone, IEEE Asia-Pacific Microwave Conf. W-5-2, Dec. 2006
- 22) K. Takizawa, S. Mizuta, M. Nakazawa, T. Sato, K. Yamasawa, Y. Miura, Y. Miyake, M. Akie, Y. Uehara, M. Munakata, M. Yagi, Magnetic Film/Polymide Dielectric Film Hybrid Transmission Line, IEEE International Magnetic Conference U.S.A, May 2006

〔図書〕(計1件)

- ①宗像誠(分筆), E.E.研究所報告, Vol.13, No.1, 2007: E.E.セミナー販売図書

6. 研究組織

(1)研究代表者

宗像 誠(MUNAKATA MAKOTO)
崇城大学・情報学部・教授
研究者番号: 10183112

(2)研究分担者

青木 振一(AOKI SHINNICHI)
崇城大学・情報学部・教授
研究者番号: 70175727

(3)連携研究者

なし