

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 15 日現在

機関番号：11301

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2014～2015

課題番号：26889006

研究課題名(和文) 磁性-誘電ナノ複相材料を用いたマイクロ波アンテナの高性能化に関する研究

研究課題名(英文) Improvements of microwave antenna with magnetic-dielectric nano composite materials

研究代表者

青木 英恵 (Aoki, Hanae)

東北大学・学際科学フロンティア研究所・助教

研究者番号：60733920

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、磁性-誘電材料をナノ複相化および多層化することでマイクロ波アンテナの小型化・高性能化を実現することが目的である。SiO₂を誘電層として挿入した小型スパイラルアンテナを作製した。全形が4mm×4mmと、主たる動作周波数の電気長の1/30以下と超小型である点がこのアンテナの特長である。申請者は、近距離の通信感度を評価するために、ウェハプローブを用いて小型アンテナへ給電、電力検出を行う評価系を立ち上げた。これにより、30mmの距離に置かれた小型アンテナ間の0.1-40GHzと広い帯域の伝送特性の評価が可能となり、近年の主要な通信帯域を含む2-4GHzにおいて、反射損失-10dBを達成した。

研究成果の概要(英文)：The aim of this study is to achieve miniaturization and high performance antenna by using magnetic-dielectric nano-composite materials. Small spiral antenna with SiO₂ dielectric layers were fabricated. It is noteworthy that the size of antenna is 4×4 mm, less than 0.03 at 2-4 GHz frequencies. To evaluate wideband transmission properties from 0.1-40 GHz, a couple of antenna was faced each other with 30 mm distance and fed by 50 matched wafer probes. High return loss of -10 dB was found at recent wireless communication frequencies of 2-4 GHz.

研究分野：高周波磁性材料

キーワード：小型アンテナ 近傍界

1. 研究開始当初の背景

近未来のコネクテッドネットワーク社会形成に向けて、環境センサや環境発電デバイスなどの無線給電・送電技術が注目されている。これらの新技術に用いられる電力輸送型アンテナは、多機能高密度デバイスへの適用を視野に、小型・薄型であることが望まれる。これまでに、2-5 GHz を動作周波数帯としてアンテナの小型化が検討されており、異なる誘電率(ϵ)を有する誘電体材料および素子の平面形状を工夫するなど試みがなされている。しかしながら、アンテナ素子を小型化すると、信号の得られる帯域幅や利得が小さくなり、日常生活における大容量のデータ通信や送電給電に適さないという問題がある。

これらの問題の解決策として、透磁率(μ)および ϵ がともに大きく同値である材料を検討し、波長短縮効果を利用してアンテナを小型化すること、 μ や ϵ の損失が小さい材料を検討し、マイクロ波帯における品質係数(Q 値)の大きい材料を用いることが重要となる。しかしながら、高効率化および小型化のための高 $\epsilon \cdot \mu$ 複合材料の利用や、その構造に関する報告はわずかである。

一方、申請者はこれまでの研究において、面内に磁氣的等方性を有し、かつ、GHz 帯域まで大きな μ を示す軟磁性ナノ複相膜を見出し、さらに異種材料の多層化を利用して GHz 帯において μ および ϵ を同時に示すような多層膜の創製に成功した。この高周波特性の発現には、磁性層と誘電絶縁層の層間隔、および微細構造が起因している。これらの成果によりもたらされた「従来の軟磁性膜では実現困難であった、面内全方向に優れた特性を示す」、「多層化により、GHz 帯域の磁性-誘電両特性の同時発現が可能である」という知見に着想を得て、これらの機能性材料を用いた高 $\mu \cdot \epsilon$ 材料を用いたアンテナを立案した。

2. 研究の目的

磁性-誘電ナノ複相薄膜をアンテナ構造へ適用し小型化・高性能化を実現することを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 小型アンテナの設計・作製・評価

小型スパイラルアンテナは、full wave 電磁界解析 (HFSS, Ansys, ver. 15.0) を用いて、巻き数、線幅、間隔をパラメータとして変化させて、2-4 GHz 帯の反射損失が大きくなるよう設計した。本研究で試作した小型スパイラルアンテナは、クリーンルーム内においてリソグラフィとリフトオフにより微細加工した。SiO₂ 基板上に、下部 Pt 導体層、SiO₂ 誘電挿入層、上部スパイラル上 Pt 導体層を、Rf マグネトロンスパッタで製膜した(図 1)。アンテナは、導体部の外径 2.66 mm、内径 1.1 mm で、全形 4 mm×4 mm であり、波長に比べて 1/30 程度の大きさである。

作製したアンテナの高周波アンテナ特性は、50 Ω 整合したウェハプローブ (Cascade

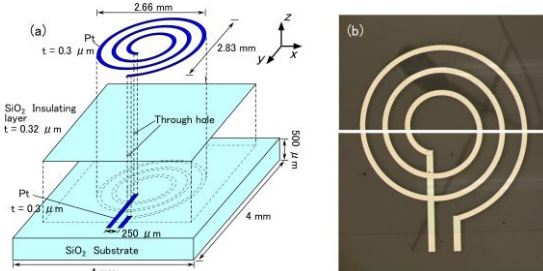


図 1 小型スパイラルアンテナの構造(a)および表面写真(b)

Microtech: GS-250) を用いて、0.01-40 GHz の広い帯域においてベクトルネットワークアナライザ (Agilent Tech.: PNA-X N5244A) で測定した。図 2 に示すように、アンテナの放射方向を一致させるように面直方向 30 mm の位置に、同じ特性を有するアンテナを配置し、受信電力を観測した。

また、full wave 電磁界解析 (HFSS, Ansys, ver. 15.0) で同じアンテナ電力伝送モデル(図 2)を用いて、近傍界における伝送特性の理論値を算出し実験値と比較した。

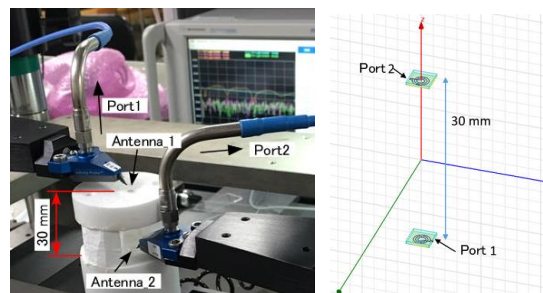


図 2 2つの同じ小型スパイラルアンテナを用いた電力伝送の測定系(左)とシミュレーションモデル(右)。

(2) (CoFe-AlN)-(SiO₂) ナノ複相膜の作製と高周波電磁気特性の評価

(CoFe-AlN)-(SiO₂) ナノ複相膜の作製は、タンデムスパッタ法を用いて作製した。これは SiO₂ および CoFe-AlN 複合材をターゲットとしたカソード 1, 2 (CA1, CA2) から、交互にスパッタされるよう、サンプルホルダを回転して製膜を行うものである。上部サンプルホルダの回転速度およびターゲットの投入電力を操作して膜構造を変化させた。作製した膜の断面 TEM 像は、イオンミリングで薄片化した試料を HR-TEM (Jeol: TEM-2100F) で観察した。また、2 次イオン質量分析計 (Secondary Ion Mass Spectrometry, SIMS) による高分解質量分析を行った。磁気特性は VSM (東栄科学産業), 高周波軟磁気特性は透磁率測定装置 (凌和電子: PMM-9G1) で評価した。

4. 研究成果

(1) 小型スパイラルアンテナを用いた近傍界における電力伝送

図 3(a)に port1 および port2 の反射係数 (s_{11} , s_{22})の周波数依存性(左辺)およびインピーダンス Z ($Z = R + jX$)の周波数依存性(右辺)を示す。port1 の送信側のアンテナおよび port2 の受信側のアンテナは、同じ周波数特性であり、作製したアンテナの再現性が高いことが示された。 s_{11} の周波数依存性は、2.1, 11 および 22 GHz に反射損失の最大値を示し、 Z の虚部 X もこのとき 0 であるので、アンテナが共振し電力を放射していると考えられる。2.1 GHz における放射は、コイル部の L (2.14 nH)および上部のスパイラル導線と下部の引き出し線の重なりによる浮遊容量 C (0.75 pF)の共振に起因すると考えられる。LC 共振周波数は 1.8 GHz であり、反射損失のピークの周波数である 2.1 GHz とほぼ一致する。一方で、11 および 22 GHz におけるピークはスパイラルアンテナの長さ 8 および 4 mm(ただし SiO_2 基板 ($\epsilon_{\text{eff}} = 3.5$)による波長短縮率 0.53 を考慮)と波長の一致による波長共振であると考えられる。反射係数 s_{11} および透過係数 s_{12} (antenna_2 の受信電力にあたる)の実験値と理論値の周波数依存性を図 3(b)に示す。増加がみられた。同じモデルでシミュレーションした s_{11} , s_{12} の理論値は、その最大値が実験値より低周波帯に現れたがその傾向は一致した。この結果から、近傍界である 30 mm の距離に置かれた同じ小型アンテナ間で、2.1, 11 および 22 GHz における電力伝送可能性を見出した。

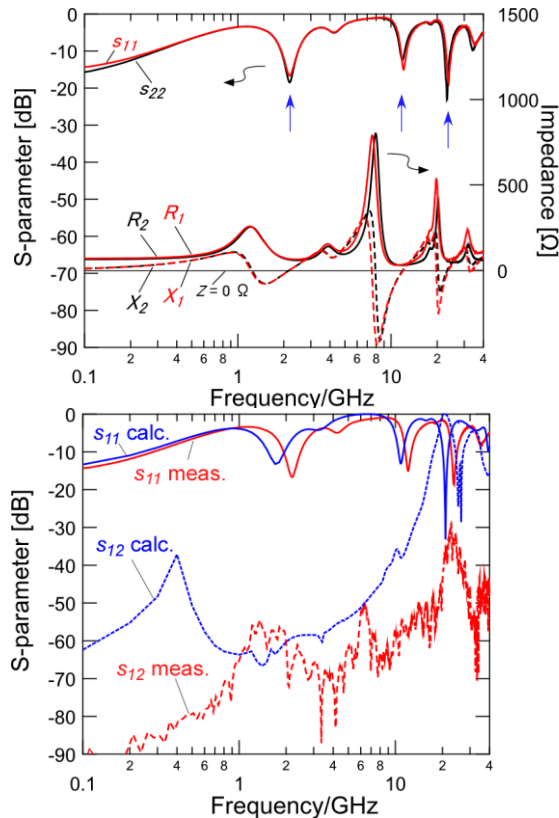


図 3 (a)反射損失および Z の周波数依存性。
(b)電力の伝送特性。

ナ間で、2.1, 11 および 22 GHz における電力伝送可能性を見出した。

(2) (CoFe-AlN)-(SiO₂) ナノ複相膜の作製と高周波電磁気特性

(CoFe-AlN)-(SiO₂)ナノ複相膜は、回転速度の減少とともに、膜は直径 3-4 nm の CoFe 粒子が AlN-SiO₂ 母相中に分散したナノグラニューラー構造から CoFe-AlN 層と SiO₂層の多層構造へと変化した。また、回転速度が遅い場合も CoFe-AlN 複合ターゲット (CA2) 側の投入電力を増加させると、層状に CoFe 粒子が配列するナノグラニューラー構造となることが分かった。また投入電力比の変化(1.13 から 2.25)により、膜の組成は $\text{Co}_{21}(\text{AlN})_{13}(\text{SiO}_2)_{63}$ から $\text{Co}_{33}(\text{AlN})_{24}(\text{SiO}_2)_{26}$ に変化した。いずれの膜も膜面内に一軸磁気異方性を示さず磁気的な等方性を有する。図 4 に作製した (CoFe-AlN)-(SiO₂) ナノ複相膜の μ の周波数依存性(断面 TEM 像)を示す。強磁性共鳴周波数 3 GHz であり、2 GHz 付近まで μ' は 20 を示した。2 GHz 以上では μ'' の損失が増加しアンテナへの適用が適さないため、 f_r のさらなる高周波化の検討が必要であることが分かった。

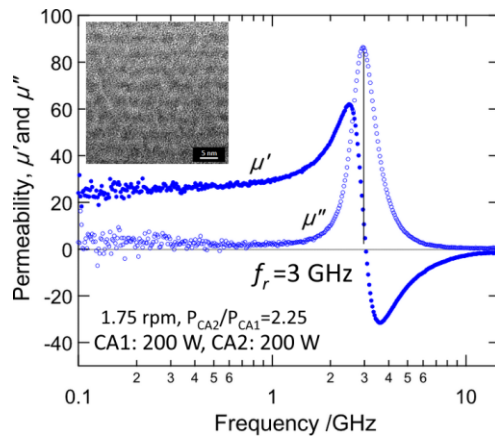


図 4 (CoFe-AlN)-(SiO₂)ナノ複相膜の μ の周波数依存性(断面 TEM 像)

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2 件)

- ① H. Kijima, S. Ohnuma, H. Masumoto, Y. Shimada, Y. Endo, M. Yamaguchi, High noise suppression using magnetically isotropic (CoFe-AlN)/AlN multilayer films, Journal of applied Physics, 117, 2015, pp. 17E514(査読あり)
<http://scitation.aip.org/content/aip/journal/jap/117/17/10.1063/1.4917500>
- ② G. Loizos, G. Giannopoulos, C. Serletis, T. Maity, S. Roy, N. Lupu, H. Kijima,

M. Yamaguchi, D. Niarchos, Soft Magnetic Multilayered Thin Films for HF Applications, Physics Procedia, 7, 2015, pp.1096-1103(査読あり)
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1875389215018209>

[学会発表] (計 7 件)

- ① H. Kijima, S. Ohnuma, H. Masumoto, Y. Shimada, Y. Endo, M. Yamaguchi, High Noise Suppression Effects of Magnetically Isotropic (CoFe-AlN)/(AlN) Multilayer Films, 59th Annual Magnetism and Magnetic Materials (MMM) Conference, 2014年11月4日~2014年11月7日、Honolulu(Hawaii, USA)
- ② H. Kijima and H. Masumoto, Multilayered Co Alloy nitride granular films for High frequency electromagnetic application, Energy Materials Nanotechnology (EMN) Open Access Week(招待講演), 2014年9月22日~2014年9月25日、Chengdu(China)
- ③ 木島英恵、大沼繁弘、島田寛、増本博、遠藤恭、山口正洋、面内等方性を有するCo-AlN膜の高ノイズ抑制効果、第38回日本磁気学会学術講演会、2014年9月2日-5日、慶応大学
- ④ 青木英恵、増本博、早坂淳一、荒井賢一、山口正洋、誘電層を挿入した不平衡給電スパイラルアンテナの小型化・高周波化の検討、第39回日本磁気学会学術講演会、2015年9月8日~2015年9月11日、名古屋大学
- ⑤ 青木英恵、増本博、大沼繁弘、山口正洋、低損失磁気-誘電 Co-SiN-SiO₂ ナノグラニューラ膜の作製、第39回日本磁気学会学術講演会、2015年9月8日~2015年9月11日、名古屋大学
- ⑥ H. Aoki, M. Jingyan, H. Masumoto, M. Yamaguchi, Radiated Noise Suppression Effects of Multilayered Soft Magnetic (Co-AlN)/(AlN) Films, Korea-Japan EMT/EMC/BE Joint Conference (KJJC 2015), 2015年11月23日~2015年11月24日、Sendai
- ⑦ 青木英恵、増本博、荒井賢一、山口正洋、超小型スパイラルアンテナの放射特性の実験的評価、電子情報通信学会総合大会、2016年3月15日~2016年3月18日、九州大学

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：

種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

[その他]

ホームページ等
東北大学 研究者紹介 木島英恵
<http://db.tohoku.ac.jp/whois/detail/aa7060d43fd9807ad9b906f53ccb34cc.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

青木(木島)英恵 (Hanae Aoki, nee Kijima)
東北大学 学際科学フロンティア研究所
助教
研究者番号：60733920

(2) 研究分担者

なし ()

研究者番号：

(3) 連携研究者

なし ()

研究者番号：