

Estudo das Interações e Espalhamentos de Fótons em Microondas na Faixa de 8 a 12 GHz em Materiais Filmes Finos com Diferentes Permeabilidades

Daniel Basso Ferreira •, Inácio Malmonge Martin •⁺, José Atílio Fritz Fidel Rocco • e Mirabel Cerqueira Rezende *

• Instituto Tecnológico de Aeronáutica, ITA, CTA, São José dos Campos, SP. * Instituto de Aeronáutica e Espaço, IAE, CTA, São José dos Campos, SP.

⁺ Universidade de Taubaté, Departamento de Física e Matemática, Taubaté, SP.

Resumo — O estudo de materiais sob a forma de filmes finos absorvedores de radiação na faixa de microondas consiste em estabelecer um modelo teórico qualitativo para a absorção e em comprovar o modelo com os resultados de ensaios de absorção de fótons em microondas na faixa de 8 a 12 GHz para estes filmes finos carregados com nanopartículas de óxido de ferro.

Palavras-chaves — Filmes finos, nanopartículas, ferrites, absorvedores, microondas.

I. INTRODUÇÃO

Quando uma radiação eletromagnética incide sobre um material sob a forma de filme fino (manta) sabe-se que uma parcela desta radiação é absorvida pelo material. O objetivo deste estudo foi dimensionar um material filme fino de modo a maximizar essa parcela de radiação absorvida e conseqüentemente minimizar a fração refletida pelo material. As mantas absorvedoras podem ser aplicadas, por exemplo, em telecomunicações, na proteção de antenas e de sistemas embarcados, também na proteção de circuitos que operam na faixa de RF para não sofrerem interferência de radiações espúrias. Em termos de defesa, é de particular interesse a obtenção desse tipo de material, pois essa é a base da tecnologia “stealth”, ou seja, dos objetos invisíveis ao radar.

II. CONCEITOS FÍSICOS

Os átomos possuem momentos magnéticos dipolares devido ao movimento dos elétrons e também aos seus spins. O alinhamento dos dipolos magnéticos ao serem submetidos a um campo magnético externo, tende a reforçar o campo. Por isso, no interior de um material magneticamente polarizado, os dipolos magnéticos criam um campo magnético que tem o mesmo sentido que o campo magnético responsável pela polarização. Considerando essa característica, os materiais podem ser classificados quanto ao comportamento dos momentos magnéticos quando o material é submetido a um campo magnético externo em substâncias diamagnéticas, paramagnéticas e ferromagnéticas. Nosso interesse está nos materiais ferromagnéticos – neste trabalho representados pelas ferrites nas quais existe uma forte interação entre dipolos magnéticos vizinhos, os momentos magnéticos tendem a permanecer alinhados mesmo em altas temperaturas

e sob a ação de campos magnéticos fracos, o que faz o campo total assumir valores elevados. O fenômeno do ferromagnetismo é causado por uma forte interação entre os elétrons pertencentes a uma camada incompleta de um átomo ou entre os elétrons de átomos vizinhos. Esta interação, denominada interação de câmbio, faz com que um par de elétrons possua uma energia menor se os spins estiverem apontando no mesmo sentido do que se estiverem apontando em sentidos contrários. Nessas substâncias, o alto grau de alinhamento dos momentos magnéticos e a persistência dessa característica mesmo depois que o campo magnético externo é removido ocorre porque os momentos magnéticos influenciam os momentos vizinhos, fazendo com que todos os momentos de uma pequena região do espaço fiquem alinhados mesmo na ausência de um campo externo. A região do espaço na qual todos os momentos magnéticos estão alinhados é chamada de *domínio magnético*, a Fig. 1 ilustra esse conceito.

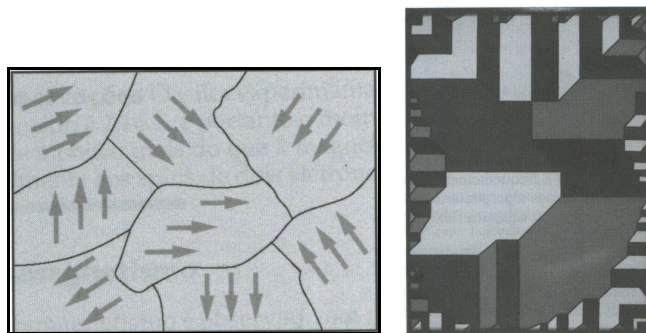


Fig. 1. Diagrama esquemático dos domínios em um material ferromagnético e uma fotografia dos padrões de domínios em um monocristal de níquel.

Outro aspecto a ser observado é que a anisotropia de um monocristal (e.g., Fe) implica que existem direções preferenciais de orientação para a magnetização, as conhecidas direções de fácil magnetização e um monocristal pode ser formado de vários domínios alinhados em diferentes direções de fácil magnetização. Assim, infere-se que quanto

Daniel Basso Ferreira, danielbassof@gmail.com, Tel. +55-12-39397109; Inácio Malmonge Martin, martin@ita.br, Tel. +55-12-39475937; José Atílio Fritz Fidel Rocco, friz@ita.br, Tel. +55-12-39475918; Mirabel Cerqueira Rezende, mirabel@iae.cta.br, Tel. +55-12-39476420.

menores forem os grãos dos monocristais menor será o número de domínios nos mesmos e conseqüentemente menor será a influência de um domínio sobre o outro, o que possibilitará uma quase total magnetização do grão em uma mesma direção fácil. Neste mesmo raciocínio, [1] reforça nossa constatação ao citar que os átomos de ferro na hemoglobina são muito pequenos para produzir uma magnetização detectável pelos instrumentos de análise. Ao passo que traços maiores dão melhor (alta) resolução nos aparelhos, i.e., uma maior fração de radiação retorna ao detector. Portanto, a absorção de radiação eletromagnética será mais expressiva em estruturas “pequenas”, visto que a influência de um domínio sobre o outro é ínfima e desse modo, a energia das microondas incidente é utilizada para magnetizar essas regiões no material composto por ferrites.

III. COMPROVAÇÃO EXPERIMENTAL

Para então observar a característica de absorção proposta no parágrafo anterior, montou-se mantas com partículas de óxido de ferro de dimensões da ordem de 100 nanômetros. Essas mantas consistem de uma matriz de poliol inerte (absorção de radiação desprezível) e uma porcentagem variável de massa de aditivo (óxido de ferro) – geraram-se filmes com 20%, 30%, 40% e 50%. Ambos os filmes foram construídos de forma a terem uma espessura contínua de aproximadamente $h = 2$ mm (Fig.2). Para avaliar a capacidade de absorção de microondas na faixa de 8 a 12 GHz utilizou-se uma configuração de instrumentos tal como se ilustra na Fig.3. Nela, o gerador de RF incide a radiação eletromagnética em uma abertura do guia de ondas retangular enquanto na outra abertura deste guia se encontra a amostra (manta). Acoplado ao guia está um detector de potência eletromagnética, o qual compara a potência do sinal incidente com a do sinal refletido na amostra. Desse modo, estabeleceu-se a taxa de atenuação do sinal devido à presença da manta na terminação do guia de onda (Fig.4).

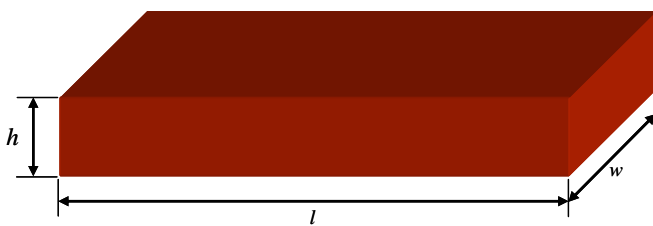


Fig. 2. Esboço da característica geométrica das mantas.

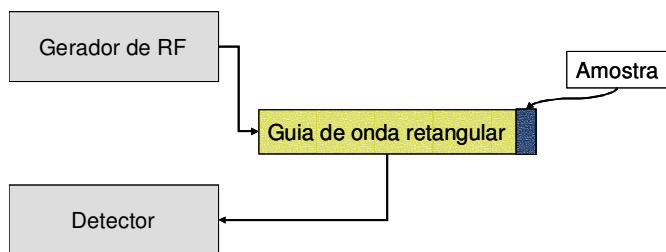


Fig. 3. Diagrama esquemático da montagem utilizada para verificar a atenuação devida às mantas.

Relação que estabelece esta atenuação A:

$$A = 20 \cdot \log \frac{I}{I_0} \quad (01)$$

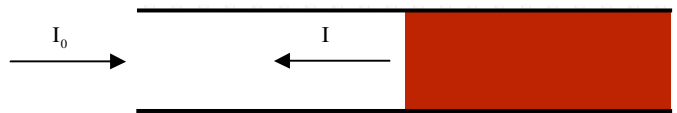


Fig. 4. Radiação que incide e reflete na manta com nanopartículas de óxido de ferro.

Assim, com os dados tirados do detector, plotamos os gráficos das Figs. 5 e 6 que ilustram as atenuações das mantas construídas, sendo uma delas sem aditivo (apenas a matriz inerte) e as demais com as porcentagens de aditivo já citadas.

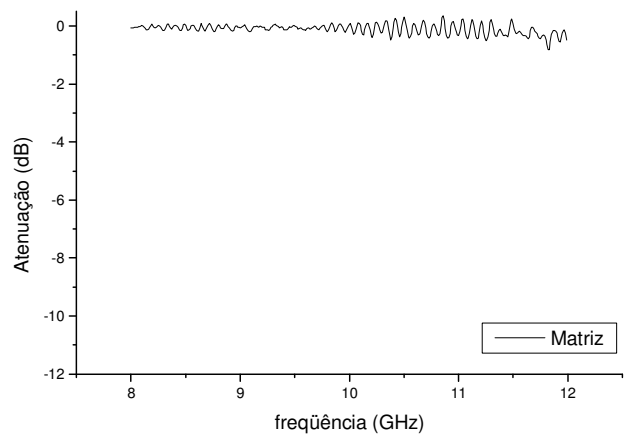


Fig. 5. Atenuação versus frequência para a matriz de poliol inerte que constitui as mantas.

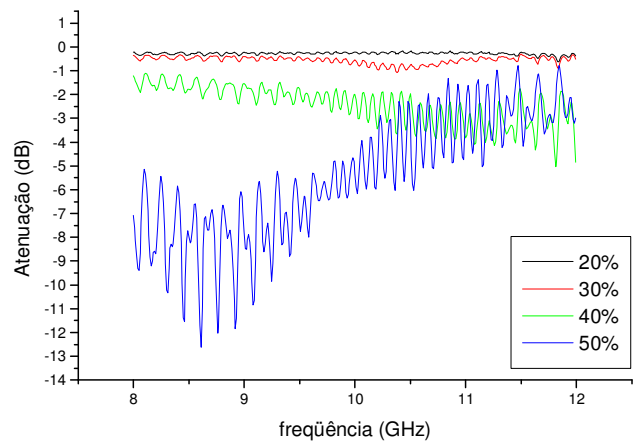


Fig. 6. Atenuação versus frequência para os filmes com a carga de ferrite nanométrica.

Pode-se notar que de fato ao considerarmos a matriz como sendo inerte não se está incorrendo em erro, visto que o diagrama da Fig.5 mostra que para a faixa de frequências de 8 a 12 GHz, a atenuação é aquém a 1 dB. Também, os gráficos da Fig.6 apontam para as inferências da nossa teoria, a saber: ao aumentarmos a carga metálica nanométrica na matriz (aumento da porcentagem relacionada) se está aumentando o número de domínios magnéticos na matriz - estes que para partículas nanométricas são diminutos, o que diminui a influência entre os domínios presentes. Desta forma a radiação incidente na manta magnetiza estes domínios,

perde potência, e faz a intensidade da radiação refletida diminuir, o que claramente é observado para o filme com 50% de óxido de ferro (nanométrico) em massa no início do intervalo de frequências.

Para confrontar os resultados obtidos com os filmes feitos de óxido de ferro nanométrico, montou-se uma manta com óxido de ferro (60% em massa) de dimensões da ordem de grandeza dos micrometros e fez-se o conjunto de medições idêntico ao descrito para as mantas anteriores. A Fig.7 mostra a característica de atenuação deste filme.

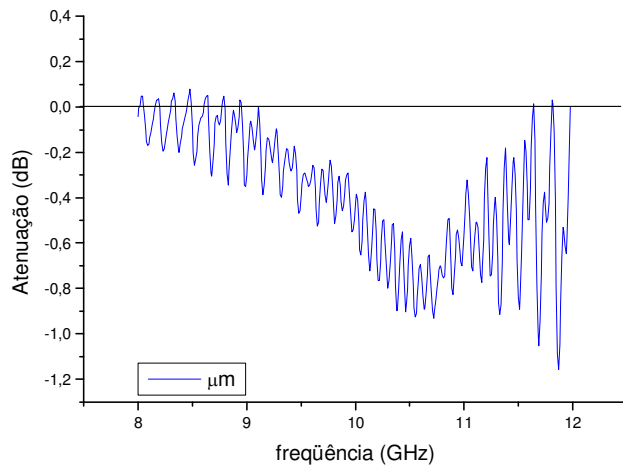


Fig. 7. Atenuação versus frequência para o filme com o aditivo de óxido de ferro em escala micrométrica.

Para este filme, a matriz era composta por silicone (atenuação incipiente) de forma que no diagrama da Fig. 7 a atenuação representada desconta o efeito de absorção da matriz. Note que os níveis de atenuação desta manta são inferiores aos das mantas nanométricas com porcentagens de aditivo comparáveis - isto, no nosso modelo é explicado devido à dimensão dos domínios magnéticos ter aumentado e assim, a magnetização de um domínio toma um valor expressivo tal que um domínio interfere sobre o outro e conseqüentemente “satura” a magnetização fazendo grande parcela da radiação incidente ser refletida.

IV. VANTAGENS DO MODELO

Ao estabelecermos as mantas apresentadas no item anterior temos uma grande vantagem com respeito à reprodução de resultados. Isto é um fator extremamente importante quando se fala em materiais absorvedores, visto que muitas mantas com boa taxa de absorção constituídas de ferrites não nanométricas, não conseguem ser reproduzidas. O fator de organização de átomos e substâncias não se repete e impede a repetição de bons resultados quanto à absorção de energia. Contudo ao trabalharmos com partículas de dimensões nanométricas dispersas em um composto orgânico, a distribuição do óxido de ferro se faz de maneira homogênea e uniforme, o que permite a obtenção de curvas semelhantes à da Fig.6 para outras mantas construídas segundo os mesmos procedimentos.

V. COMENTÁRIOS FINAIS

Efetuamos mantas - baseadas em “binders” poliuretânicos produtos da reação de um polioli de cadeia longa (PBLH – Polibutadieno Líquido Hidroxilado) com um diisocianato do tipo HMDI (Hexametileno Diisocianato) carregados com ferrites nanométricas - de 2 mm de espessura e observamos a absorção da energia microondas compreendidas entre 8-12 GHz. Verificamos que para uma concentração massa/massa da matriz/aditivo de 50% obteve-se o melhor grau de absorção.

Uma continuação deste estudo seria produzir mais mantas nanométricas de óxido de ferro com outros tipos de matrizes inertes e avaliar o caráter da absorção – ver se ele persiste tal como foi apresentado no texto. Isto seria interessante, pois as técnicas de síntese de nanopartículas de óxido de ferro têm aumentado o que possivelmente permitirá um maior acesso a tal composto facilitando a reprodução deste processo.

REFERÊNCIAS

- (01) Day, C. *Novel Medical Imaging Method Shows Promise*. Physics Today, Setembro de 2005.
- (02) Dias, J., Rezende, M. C., Martin, I.M., *Absorvedores de Radiação Eletromagnética Aplicados no Setor Aeronáutico*. Revista de Ciência & Tecnologia, nº 15 – pp. 33-42, Junho de 2000.
- (03) Bregar, V. B. *Advantages of Ferromagnetic Nanoparticle Composites in Microwave Absorbers*. IEEE Trans. Mag. Janeiro, 2004.
- (04) Bethe, K., Verweel, J. *On Dielectric Losses at Microwaves: Sensitive Measurements and Results*. IEEE Trans. Mag. nº 3. 1969.
- (05) Soohoo, R.F. *Theory and application of ferrites*. Prentice-Hall, 1960.
- (06) Helszajn, J. *Principles of Microwave Ferrite Engineering*. John Wiley & Sons Ltd., 1969.
- (07) Lax, B.J. & Button, K.J. *Microwave Ferrites and Ferrimagnetics*. McGraw-Hill, 1962.