

Investigação experimental de uma antena de microfita patch monopolo em S usando substrato cerâmico de alta permissividade elétrica BiNbO_4

Ranilson Carneiro Filho, José Humberto de Araújo, Marconi Floripe Ginani, Adaildo Gomes d'Assunção e Laércio Martins de Mendonça.

Resumo — Neste trabalho é projetada e construída uma antena de microfita *patch* monopolo em S compacta usando o substrato cerâmico niobato de bismuto (BiNbO_4), que possui alta permissividade dielétrica, alto fator de qualidade e baixo coeficiente de temperatura na frequência de ressonância. Os processos de obtenção e caracterização do material cerâmico BiNbO_4 e da construção da antena são descritos. Os parâmetros da antena são medidos e simulados, mostrando boa concordância entre os dois. A antena pode ser usada em sistemas de comunicações sem fio 3G/4G.

Palavras-chaves — Antena *patch* de microfita, substrato cerâmico de alta permissividade elétrica, otimização da antena.

Abstract— This work shows the design and construction of a compact microstrip-fed S-shaped patch antenna using the ceramic substrate niobate of bismuth (BiNbO_4). This ceramic substrate has high electrical permittivity, high quality factor and low temperature coefficient in resonant frequency. The ceramic substrate fabrication process and characterization is described and the fabrication process of the antenna is reported. A good agreement was observed between measured and simulated results of this antenna. The antenna can be used in 3G/4G wireless communications.

Keywords— Microstrip patch antenna, high electrical permittivity ceramic substrate, antenna optimization.

I. INTRODUÇÃO

Uma das formas de miniaturização de antenas mais utilizadas em comunicações sem fio é usar materiais dielétricos cerâmicos, que possuem um alto valor da constante dielétrica relativa ϵ_r , um alto fator de qualidade Q (baixo valor das perdas dielétricas) e um coeficiente de temperatura na frequência de ressonância τ_f , muito pequeno ou nulo [1-2].

Ranilson Carneiro Filho, José Humberto de Araújo, Marconi Floripe Ginani, Adaildo Gomes d'Assunção e Laércio Martins de Mendonça, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, Brasil, E-mails: ranilson@dfte.ufrn.br, humberto@dfte.ufrn.br, ginani@quimica.ufrn.br, adaildo@ct.ufrn.br, laercio@ct.ufrn.br.

A principal vantagem deste tipo de material sobre os demais consiste em proporcionar a construção de antenas de tamanho compacto e fácil fabricação. A maioria dos dielétricos cerâmicos usados em microondas, tais como o $\text{Sn}_x\text{Zr}_{1-x}\text{TiO}_4$ e $\text{Ba}(\text{Mg}, \text{Ta})\text{O}_3$ são obtidos a altas temperaturas ($T_s > 1.400^\circ\text{C}$), tornando-se necessário o desenvolvimento de materiais cerâmicos que possam ser obtidos em temperaturas inferiores ao ponto de fusão dos metais condutores usados na confecção dos dispositivos, tais como cobre e prata. Um ponto de fusão mais baixo também pode evitar mudanças de fase do material cerâmico devido aos valores altos de temperatura na sinterização.

Recentemente, substratos dielétricos cerâmicos usando as substâncias químicas bismuto e nióbio como base foram propostos como novos candidatos para dielétricos cerâmicos para aplicações em dispositivos de microondas, devido à sua baixa temperatura de sinterização e excelentes propriedades dielétricas [3-6].

A proposta deste trabalho é utilizar o material cerâmico niobato de bismuto (BiNbO_4) na construção de substratos dielétricos para emprego em antenas *patch* de microfita banda larga para uso em comunicações sem fio. A construção destas antenas pode ser dividida em três fases: (1^a) preparação do pó ultrafino niobato de bismuto (BiNbO_4), dopado com óxido de vanádio (V_2O_5), usando a técnica de coprecipitação com sais solúveis em água [7-8]; (2^a) construção do substrato em forma circular a ser usado na antena e deposição do condutor em cobre ou prata, com as geometrias adequadas, nas duas faces do substrato; (3^a) projeto, simulação e medição de parâmetros elétricos da antena construída.

O presente trabalho está dividido nas sessões descritas a seguir. Na Sessão II são mostradas as técnicas experimentais de obtenção do substrato cerâmico niobato de bismuto (BiNbO_4). Na Sessão III é analisada a configuração da antena *patch* de microfita, que foi projetada, simulada e testada nos laboratórios do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Na Sessão IV são analisados os resultados obtidos através de simulação computacional e medição em laboratório da antena *patch* de microfita construída.

II. TÉCNICAS EXPERIMENTAIS

A. Preparação do BiNbO_4 (Processo Químico)

Para o preparo do composto BiNbO_4 , dopado com V_2O_5 , foram usados como materiais de partida o óxido de nióbio, o nitrato de bismuto, o óxido de vanádio e o hidróxido de amônia.

Para a obtenção do BiNbO_4 por co-precipitação, uma quantidade estequiométrica 1:1 de $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (nitrato de bismuto) é dissolvida em uma quantidade mínima HNO_3 (ácido nítrico) diluído para que haja a precipitação dos íons de bismuto. As quantidades estequiométricas de Nb_2O_5 (pentóxido de nióbio) e uma quantidade de 0,5% de V_2O_5 (pentóxido de vanádio) são dissolvidas em cerca de 30 ml de HF (ácido fluorídrico) com solução 40% diluído e aquecidas por 2 horas, sendo ambas misturadas após este processo. A adição do óxido de vanádio (fundente) tem como objetivo reduzir a temperatura da sinterização do substrato cerâmico BiNbO_4 . A adição de hidróxido de amônia provoca a precipitação completa do nióbio e do bismuto como hidróxidos.

Após a precipitação, a solução é filtrada e lavada diversas vezes com água destilada e colocada numa mufla para calcinar a 750°C por 4 horas. Após retornar à temperatura ambiente, é macerado em um almofariz de ágata com álcool isopropílico por cerca de 12 horas (Fig. 1a).

O material assim obtido tem sua massa requerida medida em uma balança de precisão e é prensado em uma matriz de aço ferramenta com diâmetro $D=30,0\text{mm}$ (Fig. 1b). Retirado da matriz, o substrato em forma circular (disco na Fig. 1c) é colocado sobre uma cerâmica plana e submetido ao processo de sinterização a 890°C por 4 horas.

Após o esfriamento do substrato (Fig. 1d), são então aplicados os metais condutores (cobre/prata), com a geometria específica para a antena que se deseja construir.



Fig. 1. Fases de obtenção do substrato cerâmico: (a) Almofariz em ágata com o pó BiNbO_4 dopado com V_2O_5 . (b) Matriz em aço ferramenta. (c) Pastilha de BiNbO_4 após prensagem. (d) Pastilha de BiNbO_4 após sinterização.

B. Caracterização do BiNbO_4 (Processo Físico)

O processo de difratometria por raios-X (XRD) foi empregado para caracterizar o pó ultrafino BiNbO_4 dopado com V_2O_5 . A difração de raios-X (DRX) representa o

fenômeno de interação entre o feixe de raios-X incidente e os elétrons dos átomos componentes de um material, relacionado ao espalhamento coerente. A técnica consiste na incidência da radiação em uma amostra e na detecção dos fótons difratados, que constituem o feixe difratado. É tradicionalmente usada para análises qualitativas e quantitativas de fases com estruturas cristalinas. Dentre as vantagens da técnica de difração de raios-X para a caracterização de fases, destaca-se a simplicidade e rapidez do método, a confiabilidade dos resultados obtidos, visto que o perfil de difração obtido é característico para cada fase cristalina. Possibilita também a análise de materiais compostos por uma mistura de fases e uma análise quantitativa destas fases.

Neste trabalho foi usado para análise de raios-X um difratômetro da marca Shimadzu XRD 6000, utilizando-se uma fonte de radiação de $\text{CuK}\alpha$ de $1,5418\text{\AA}$, com uma tensão de 30kV e corrente de 20mA , em amostras pulverizadas.

A Fig. 1 mostra o difratograma de raios-X da amostra usada para obtenção do substrato cerâmico. Podemos ver que o difratograma pode ser ajustado com duas componentes. Uma, a mais intensa, referente a fase com estrutura ortorrômbica do alfa- BiNbO_4 (ICSD-074338) e a outra referente a estrutura trigonal do beta- BiNbO_4 (ICSD-010247). Os parâmetros de rede para o alfa- BiNbO_4 são: $a = 5,681\text{\AA}$, $b = 11,713\text{\AA}$ e $c = 4,984\text{\AA}$. O tamanho do cristalito obtido pela fórmula de Debye-Sherer é de aproximadamente 660nm .

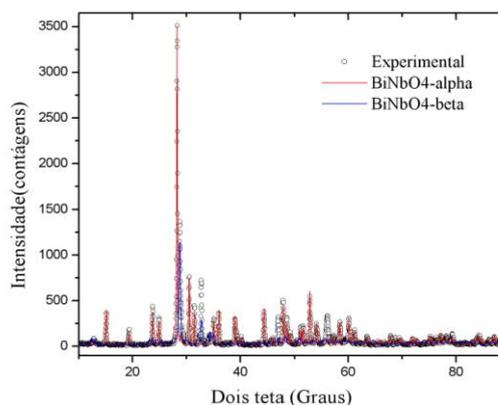


Fig. 2. Difratograma de raios-X (XRD) da amostra de BiNbO_4 usada na construção do substrato cerâmico.

III. ANTENA PROPOSTA

Os procedimentos desenvolvidos na confecção ou construção da antena *patch* de microfita foram todos realizados nos laboratórios do Departamento de Engenharia Elétrica do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

A Fig. 3(a) mostra o substrato dielétrico cerâmico BiNbO_4 em forma circular (disco) de diâmetro $D = 26\text{mm}$ e espessura $h = 1\text{mm}$. A constante dielétrica relativa na frequência de ressonância tem valor $\epsilon_r = 47,8$.

Na fase do projeto (simulação computacional) da antena de microfita proposta foi observada uma redução na largura de banda quando se usava o substrato cerâmico de alta constante dielétrica. Como resolver essa questão? A técnica empregada como solução para o aumento da largura de banda foi o truncamento do plano de terra (impresso com cobre) de forma conveniente sobre uma das faces do substrato cerâmico, como mostrado na geometria da Fig. 3(b), para a dimensão de $L_g = 16 \text{ mm}$.

Na outra face do dispositivo, é impresso também com cobre, um patch em forma de S alimentado por uma linha de microfita, com geometria mostrada na Fig. 4 e dimensões dadas por: $L_0=7 \text{ mm}$; $L_1=8 \text{ mm}$; $L_2=4 \text{ mm}$; $L_3=0,8 \text{ mm}$; $L_4=1,8 \text{ mm}$; $W_0=2 \text{ mm}$; $W_1=1 \text{ mm}$; $W_2=3 \text{ mm}$; $W_3=1,6 \text{ mm}$; $W_4=5 \text{ mm}$.

As Figs. 5(a) e 5(b) apresentam as fotos da antena proposta mostrando, respectivamente, o patch em S alimentado pela linha de microfita e o plano de terra truncado.

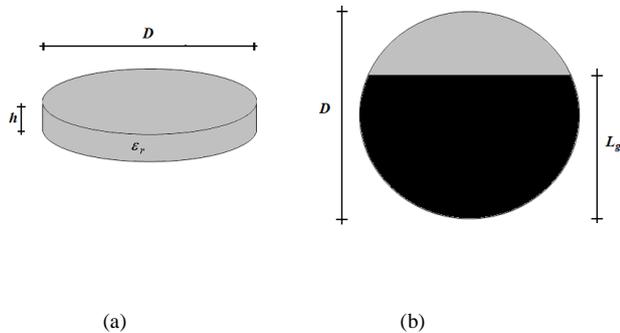


Fig. 3. (a) Geometria do substrato cerâmico $BiNbO_4$ em forma circular com $D = 26 \text{ mm}$; $h = 1 \text{ mm}$; $\epsilon_r = 47,8$. (b) Geometria do plano de terra truncado. Dimensão do plano de terra truncado: $L_g = 16 \text{ mm}$.

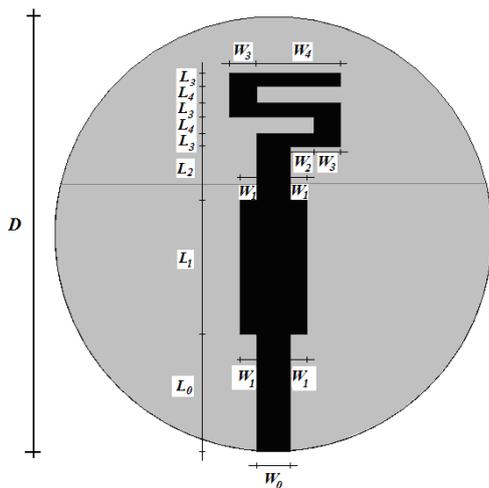


Fig. 4 – Geometria do patch metálico em forma de monopolo S alimentado pela linha de microfita.

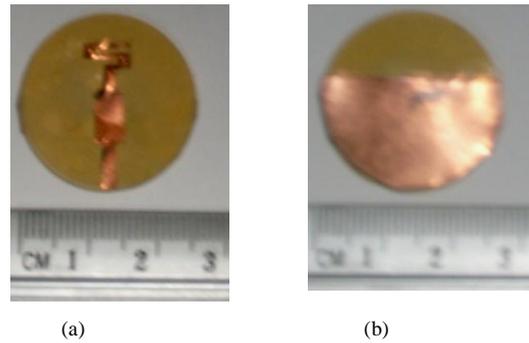


Fig. 5. (a) Foto da antena proposta mostrando a linha de alimentação em microfita e o patch em forma de monopolo em S. (b) Foto da antena proposta mostrando o plano de terra truncado.

IV. RESULTADOS

As propriedades de frequência de ressonância da antena de microfita com patch monopolo em forma de S foram otimizadas usando-se o software comercial *Ansoft HFSS V9* e os parâmetros característicos da antena construída foram medidos no analisador de redes *Rhode & Schwarz FSH6 Spectrum Analyzer*.

A Fig. 6 mostra os resultados medidos e simulados para a perda de retorno em função da frequência [$S_{11}(\text{dB}) \times \text{Freq}(\text{GHz})$] da antena de microfita proposta.

A frequência de ressonância medida foi de 2,817 GHz para uma perda de retorno de $-14,7 \text{ dB}$, enquanto a frequência e ressonância simulada foi de 2,944 GHz para perda de retorno de $-19,6 \text{ dB}$.

Estes resultados mostram uma boa concordância. O erro percentual relativo da frequência de ressonância é de 4,3% e pode explicado como erro na medição pelo não emprego de câmara anecóica.

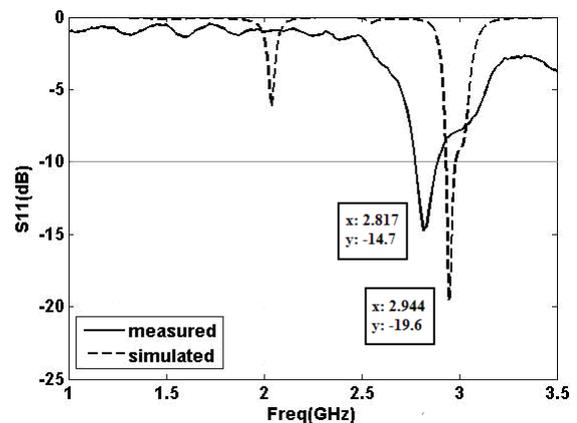


Fig. 6. Resultados numéricos para a perda retorno em função da frequência [$S_{11}(\text{dB}) \times \text{Freq}(\text{GHz})$] para a antena de microfita proposta.

A Tabela I apresenta os parâmetros de frequência de ressonância medidos e simulados: a frequência de ressonância, F_R , a perda de retorno (S_{11}), a largura de banda, BW e a largura de banda fracionária, dada por, $BW(\%) = (BW/F_R) \times 100$.

TABELA I

Parâmetros de Frequência de Ressonância.

Parâmetro (unidade)	Freq (GHz)	S_{11} (dB)	BW (MHz)	BW (%)
Medido	2,817	-14,70	100	3,55
Simulado	2,944	-19,50	35	1,19

V. CONCLUSÃO

Neste trabalho é realizado o desenvolvimento do projeto e construção física de uma antena de microfita *patch* monopolo em S, com plano de terra truncado, além da inclusão do substrato dielétrico cerâmico de alta permissividade elétrica niobato de bismuto ($BiNbO_4$), dopado com óxido de vanádio.

A descrição do método experimental usado na obtenção do substrato, mostrando a forma de preparação e a caracterização do material cerâmico utilizado é realizada. Os resultados medidos no *Rhode & Schwarz FSH6 Spectrum Analyzer* e simulados no software *Ansoft HFSS V9* para a frequência de ressonância da antena e outros parâmetros a ela relacionados são apresentados, mostrando uma boa concordância entre eles.

A utilização deste tipo de material cerâmico com alta permissividade elétrica permite uma redução nas dimensões da antena. Isto se deve ao fato de que o comprimento de onda de trabalho no interior do meio dielétrico ser diretamente proporcional à maior dimensão da antena e inversamente proporcional à constante dielétrica relativa do material.

A largura de banda foi incrementada com o uso da técnica de truncamento do plano de terra da antena proposta.

Portanto, as principais contribuições deste trabalho são o uso de material cerâmico $BiNbO_4$ como substrato dielétrico de alta constante dielétrica, o que produz miniaturização da antena de microfita, além de técnica do truncamento/corte do plano, tornando a antena banda larga.

A continuidade deste trabalho está direcionada para uso deste substrato cerâmico em arranjos de antenas *patch* de microfita, para aplicações em sistemas de comunicações sem 3G/4G, além do desenvolvimento de modelos de circuitos equivalentes para estas estruturas.

REFERÊNCIAS

1. D. Zhou, W. Wu, H. Wang, Y. Jiang, and X. Yao, "The two element antennas using $BiNbO_4$ ceramics as the substrate," *Materials Science and Engineering A*, pp. 652-655, 2007.
2. Ahmad Hoorfar and Alessandro Perrotta, "An Experimental Study of Microstrip Antennas on Very High Permittivity Ceramic Substrates and Very Small Ground Planes," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 49, no. 4, April 2001.
3. Radha R, Muthurajan H, Koteswara Rao N, Pradhan, Sivaram, Gupta UN, Jha RK, Mirji SA, Ravi V, "Low Temperature Synthesis and Characterization of $BiNbO_4$ Powders", *Materials Characterization* (2007), doi:10.1016/j.matchar.2007.08.026.
4. N. Wang, M. Y. Zhao, Z. W. Yin and W. Li, "Low-temperature synthesis of β - $BiNbO_4$ powder by citrate sol-gel method," *Mater. Lett* 57 (2003) 4009- 4013.
5. M. A. Subramaniam and J. C. Calabrese, "Crystal structure of the low temperature form of bismuth niobium oxide [α - $BiNbO_4$]," *Mater. Res. Bull* 28 (1993) 523- 529.
6. N. Wang, M. Y. Zhao, Z. W. Yin and W. Li, "Effects of complex substitution of La and Nd for Bi on the microwave dielectric properties of $BiNbO_4$ ceramics," *Mater Res. Bull* 39 (2004) 439- 448.
7. R. Radha, U. N. Gupta, V. Samuel, H. Muthurajan, H. H. Kumar, and V. Ravi, "A co-precipitation technique to prepare $BiNbO_4$ powders," *Ceramics International*, doi:10.1016/j.ceramint.2007.03.022.
8. A. B. Gaikwad, S. C. Navale, V. Samuel, A. V. Murugan, and V. Ravi, "A co-precipitation technique to prepare $BiNbO_4$, $MgTiO_3$ and $Mg_4Ta_2O_9$ powders," *Materials Research Bulletin*, vol. 41, n. 2, pp. 347-353, 2006.