



Projeto de iniciação de científica: Crescimento de filmes finos de Ni-Mn-Ga sobre substratos de PZT flexível para aplicações em sensores magnetoelétricos

Orientador: Dr. Marcio Medeiros Soares

Co-orientador: Dr. Itamar Neckel

Introdução e justificativa

Diante dos desafios tecnológicos da atualidade e da busca por novos dispositivos capazes de superá-los, encontraram-se soluções na integração de dois ou mais materiais que exibem características singulares, possibilitando o desenvolvimento de dispositivos multifuncionais. Estes são também chamados de *smart materials* e são caracterizados por possuírem propriedades mecânicas, elétricas ou magnéticas distintas, que podem ser significativamente alteradas e controladas por um agente externo. O mecanismo de controle pode ser a aplicação de um ciclo térmico adequado, tensão mecânica, campo elétrico ou campo magnético. A associação de diferentes propriedades físicas pode levar a um aumento das características funcionais desses materiais (resposta a um campo elétrico ou magnético, por exemplo). Alguns materiais que exibem essas características, são bem conhecidos. Neste caso, podem-se citar as cerâmicas ferroelétricas (CaTiO_3 , BaTiO_3 , PbTiO_3 , SrTiO_3 , titanato zirconato de chumbo-PZT, PMN-PT), as ligas com memória de forma (Terfenol-D, Galfenol) e as ligas com memória de forma magnética (Ligas Heusler/Ni-Mn-Ga).

Neste projeto, como forma de investigar a multifuncionalidade do acoplamento de dois materiais distintos, optou-se pela integração de filmes finos altamente magnetostrictivos a filmes finos de ferroelétricos flexíveis por acoplamento direto, formando uma estrutura de duas camadas. O acoplamento entre essas camadas pode originar um efeito conhecido como efeito magnetoelétrico. Basicamente, a camada magnética, na presença de um campo magnético, sofre deformação, essa deformação é transferida ao PZT devido ao acoplamento. Ademais, a deformação do PZT gera um sinal elétrico de saída que pode ser facilmente coletado. A Figura 1.1 mostra um esquema desse acoplamento. A aplicação de um campo magnético \mathbf{H} gera uma deformação λ , o que leva a uma deformação ε no PZT. O sinal elétrico de saída é coletado nas faces do PZT. A sensibilidade desse sinal de saída a um campo \mathbf{H} é o ponto chave no

desenvolvimento de sensores magnetoelétricos com a possibilidade de operarem a temperatura ambiente.

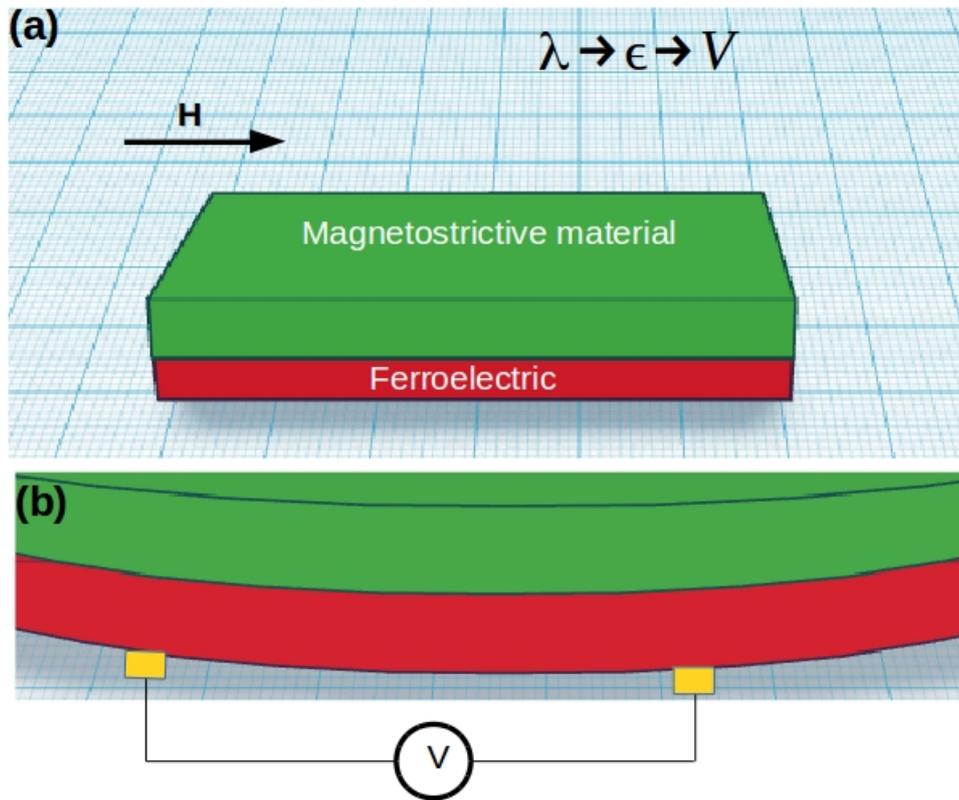


Figura 1: Ilustração mostrando que a deformação do material ferromagnético em (a) gera o sinal elétrico V em (b).

Estado da Arte

Sensores magnetoelétricos podem ser utilizados em inúmeras aplicações, tais como detectores de metal, leituras de cartões magnéticos, detecção do campo magnético terrestre, medidas de correntes elétricas, entre outras. Todavia, destacam-se as aplicações em neuromagnetismo e o cardiomagnetismo [1], as quais tratam da medição dos campos magnéticos gerados por seres vivos ($\sim 10^{-15}$ T) que, por sua vez, são utilizados na obtenção de informações que ajudam a entender sistemas biofísicos, melhorar diagnósticos e criar novos tratamentos [2]. A Figura 2 resume dezenas de trabalhos publicados sobre o acoplamento magnetoelétrico, tanto para estruturas maciças quanto para filmes finos. Quanto maior o coeficiente magnetoelétrico, maior o efeito de acoplamento.

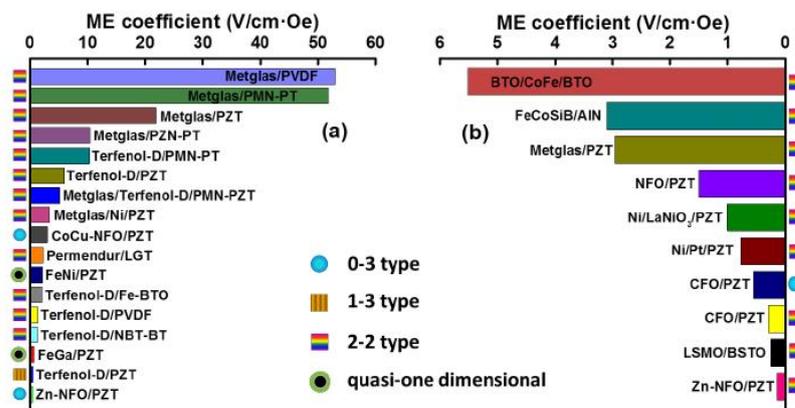


Figura 2: Valores dos coeficientes de acoplamento magnetoelétrico para vários sistemas (a) compósitos maciços (b) filmes finos. REF: Actuators 2016, 5, 9;doi:10.3390/act5010009.

Objetivos

Neste projeto propõe-se o acoplamento de filmes finos magnéticos a filmes finos piezoelétricos formando uma estrutura com poucos micrômetros de espessura. Isto se dará a partir do crescimento de filmes finos de Ni-Mn-Ga sobre substratos de PZT flexível. Convém ressaltar que a heteroestrutura final proposta, será mecanicamente flexível.

Os resultados esperados nesse projeto concentram-se em três etapas principais. A primeira parte trata da produção e caracterização de filmes finos de PZT (substratos), e espera-se filmes com alta polarização elétrica, em concordância com trabalhos prévios citados. Ademais, devido a altíssima magnetostricção das ligas Ni-Mn-Ga, é esperado um alto valor de tensão de saída na face dos filmes finos de PZT, aplicando-se campos magnéticos moderados (< 1 T), o que pode levar à um alto coeficiente magnetoelétrico, podendo superar os valores já publicados.

Metodologia e estratégia a ser executada

A fabricação dos substratos de PZT será realizada pelo método de sol-gel, associado ao método de *spin-coating*, a partir de uma solução comercial de PZT a 0,4 M. A proporção de Zr/Ti na solução será de 52/48 e, na sequência, o método de *spin-coating* será utilizado para fabricar os filmes finos [3]. Em etapa posterior, os filmes finos magnéticos de Ni-Mn-Ga serão depositados sobre os substratos de PZT.

Na deposição dos filmes de Ni-Mn-Ga sobre os substratos de PZT, a técnica escolhida foi a deposição por laser pulsado (PLD). A produção de filmes finos de Ni-Mn-Ga com alta magnetostricção também dependerá fortemente da composição do alvo e do substrato utilizado, havendo a possibilidade de se obter filmes monocristalinos ou policristalinos [4]. Contudo, é possível obter filmes finos com alta magnetostricção nos dois casos [5–7].

No que diz respeito a caracterização das camadas, o aluno utilizará as técnicas de difração de raios X (XRD) e microscopia de força atômica (AFM) para a caracterização estrutural e morfológica das camadas produzidas. Todavia, o estudante terá contato com outras técnicas de caracterização estrutural, composicional e magnética, tais como, microscopia eletrônica de transmissão (TEM), espectroscopia de fotoelétrons excitados por raios X (XPS) e XMCD-PEEM, respectivamente. Uma análise complementar da morfologia das camadas será realizada por microscopia eletrônica de varredura (MEV).

Referências Bibliográficas

- [1] R. Jahns, R. Knöchel, H. Greve, E. Woltermann, E. Lage, and E. Quandt, “Magnetolectric sensors for biomagnetic measurements,” in *Medical Measurements and Applications Proceedings (MeMeA), 2011 IEEE International Workshop on*, pp. 107–110, May 2011.
- [2] M. S. Hämmäläinen and R. J. Ilmoniemi, “Interpreting magnetic fields of the brain: minimum norm estimates,” *Medical & Biological Engineering & Computing*, vol. 32, no. 1, pp. 35–42, 1994.
- [3] K.-I. Park, J. H. Son, G.-T. Hwang, C. K. Jeong, J. Ryu, M. Koo, I. Choi, S. H. Lee, M. Byun, Z. L. Wang, and K. J. Lee, “Highly-efficient, flexible piezoelectric pzt thin film nanogenerator on plastic substrates,” *Advanced Materials*, vol. 26, no. 16, pp. 2514–2520, 2014.
- [4] Y. Zhang, R. Hughes, J. Preston, G. Botton, and M. Niewczas, “Texture and microstructure studies on films of ni-mn-ga produced by r. f. sputtering and pulsed laser deposition,” in *State-of-the-art Research and Application of SMAs Technologies*, vol. 59 of *Advances in Science and Technology*, pp. 11–17, Trans Tech Publications, 2 2009.
- [5] A. Sozinov, A. A. Likhachev, N. Lanska, and K. Ullakko, “Giant magnetic-field-induced strain in NiMnGa seven-layered martensitic phase,” *Applied Physics Letters*, vol. 80, no. 10, pp. 1746–1748, 2002.
- [6] A. Sozinov, A. A. Likhachev, N. Lanska, O. Soderberg, K. Ullakko, and V. K. Lindroos, “Effect of crystal structure on magnetic-field-induced strain in Ni – Mn – Ga,” 2003.
- [7] M. A. Marioni, R. C. O’Handley, and S. M. Allen, “Analytical model for field-induced strain in ferromagnetic shape-memory alloy polycrystals,” *Journal of Applied Physics*, vol. 91, no. 10, pp. 7807–7809, 2002.