



Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”



Instituto de Química de Araraquara

RELATÓRIO FINAL DE PÓS-DOCTORADO

Desenvolvimento de sensores magneto ótico utilizando fibra ótica

Pós-doutoranda: Dra. Adriana Maneira França

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Nalin

Araraquara

2023

A proposta do projeto era produzir uma fibra magneto-óptica monomodo, porém a proposta se estendeu para a busca por mercado e estudo da viabilidade de comercialização de vidros e/ou fibras magneto-ópticos do tipo rotadores de Faraday.

Durante o estudo pelo mercado para os vidros magneto-ópticos, produto promissor de grupo de pesquisa, foi levantada a possibilidade de aplicação dos materiais MO no sensoriamento de corrente elétrica em transformadores de energia. A partir daí foi feito um estudo detalhado do setor de energia e suas dores para determinar nossa posição diante deste mercado. Encontramos então que a comercialização dos vidros e fibras MO para sensores do mercado de energia elétrica é bastante viável.

Durante o período de 01/12/2022 à 01/12/2023 a pós-doutoranda desempenhou as seguintes atividades:

- Participou do 2nd Photonic workshop, parte do Programa LIF Empreende, que aconteceu em Campinas nos dias 30 e 31 de outubro de 2023.
- Apresentou um trabalho na modalidade pôster, intitulado Application of porous silicates impregnated with vanadium in the glycerol acetalization reaction with acetone to obtain Solketal no evento 46^o Reunião Anual da sociedade Brasileira de Química
- Participou de eventos e oficinas sobre empreendedorismo inovador, de consultorias com o SEBRAE e especialistas da incubadora de empresas de Araraquara e da organização do 1^o Workshop de Materiais Fotônicos no IQ-UNESP, Araraquara e do NanoAndes.
- Apresentou um trabalho na modalidade pôster, intitulado “Aplicação de sensores magneto ópticos ultrassensíveis” na Reunião Regional do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Fotônica, realizada em Ribeirão Preto-SP nos dias 18 e 19 de maio de 2023.
- Participou do trabalho apresentado em forma de artigo de conferência intitulado *Performance of Tb doped glass based current sensor designed to work at 1550 nm region* publicado na *IEEE Xplore*, ISBN 979-8-3503-2067-1, sob o DOI 10.1109/IMOC57131.2023.

RESUMO:

Devido à ampla aplicação dos sensores magnéticos em diversas áreas do cotidiano, vêm-se buscando otimizar este tipo de dispositivo e os sensores magneto óticos de fibra ótica se destacam por serem materiais leves, compactos e apresentarem alta segurança e sensibilidade aos campos magnéticos. Este tipo de material funciona com base no efeito de Faraday, onde a luz polarizada linear é rotacionada na presença de um campo magnético. Desta forma, este projeto teve como proposta sintetizar e caracterizar fibras óticas feitas de material magneto-ótico, dopados com Tb^{3+} , que apresentam alto valor de constante de Verdet, para serem aplicadas como sensores magneto-ótico. Esta proposta se estendeu para a produção e testagem de sensores a base de vidros magneto-óticos para o monitoramento da variação de corrente elétrica e também para o estudo das possibilidades de aplicação dos sensores magneto-óticos e a viabilidade de sua comercialização futuramente. As pré-formas para produzir fibras magneto-óticas foram sintetizadas no formato núcleo-casca no tipo multimodo e estamos tentando evoluir para a produção de uma monomodo. Devido às dificuldades que encontramos para produzir a pré-formas núcleo-casca utilizando as metodologias convencionais que, por sua vez, tiveram que ser adaptadas, as fibras magneto-óticas ainda serão puxadas em uma torre de puxamento de fibra ótica localizada no Laboratório de Vidro Especiais (LaViE). Além das fibras foram testadas a montagem e a funcionalidade de sensores a base de vidros que apresentaram boa performance magneto-ótica, previamente obtidos por nosso grupo de pesquisa. Algumas destas amostras mostraram alta sensibilidade para a variação de corrente, sendo uma delas até mais sensível que o RIG, um cristal amplamente utilizado em dispositivos comerciais. Além da parte experimental, foi feito um levantamento das possibilidades de aplicação dos sensores magneto-óticos e a viabilidade de comercialização deste, onde constatou-se que este tipo de sensor é promissor para a medição de corrente elétrica em sistemas de distribuição de energia.

1. INTRODUÇÃO:

Há décadas conseguimos controlar e analisar milhares de funções graças ao uso de sensores magnéticos, sendo utilizados em diversas áreas do cotidiano como na computação, aviação, indústria, monitoramento de segurança de sistemas de energia, monitoramento de durabilidade de construções civis, monitoramento ambiental, detecção de diagnósticos médico, monitoramento rápido e efetivo e alerta precoce de desastres geológicos, comunicação, entre outros [1,2].

Sensores magnéticos são capazes de medir tanto o campo magnético quanto a magnetização de um material [3]. Existe uma ampla variedade de sensores magnéticos, cada tipo de sensor é apropriado para uma aplicação diferente, a escolha do sensor a ser utilizado dependerá da faixa de medição do campo que se deseja medir [1, 3]. Dentre os diversos modelos, neste trabalho será desenvolvido um sensor magnético do tipo magneto-ótico utilizando uma fibra ótica.

Enquanto os sensores tradicionais apresentam limitações por serem grandes, apresentarem alto custo, dificuldade de manutenção e instalação, estrutura de isolamento complexa e alto risco, os sensores de fibras óticas são leves, pequenos, apresentam boa estabilidade, baixa interferência, baixo risco à segurança e facilidade em estabelecer interfaces digitais [2].

O sensor magneto-ótico explora um efeito descoberto por Faraday que envolve a rotação do plano de luz polarizada que ao atravessar um meio magneto-ótico é exposta à um campo magnético, este efeito é conhecido como Efeito Faraday ou efeito magneto ótico linear [4,5]. Geralmente, o efeito de Faraday é medido pelo ângulo no qual o plano de uma luz polarizada gira (Θ) usando a seguinte equação:

$$\Theta = V \cdot B \cdot L \quad \text{Equação 1}$$

Onde V é a magnitude da rotação de Faraday, chamada de constante de Verdet, L é o comprimento da fibra no qual a luz polarizada atravessa e B é o campo magnético aplicado [4].

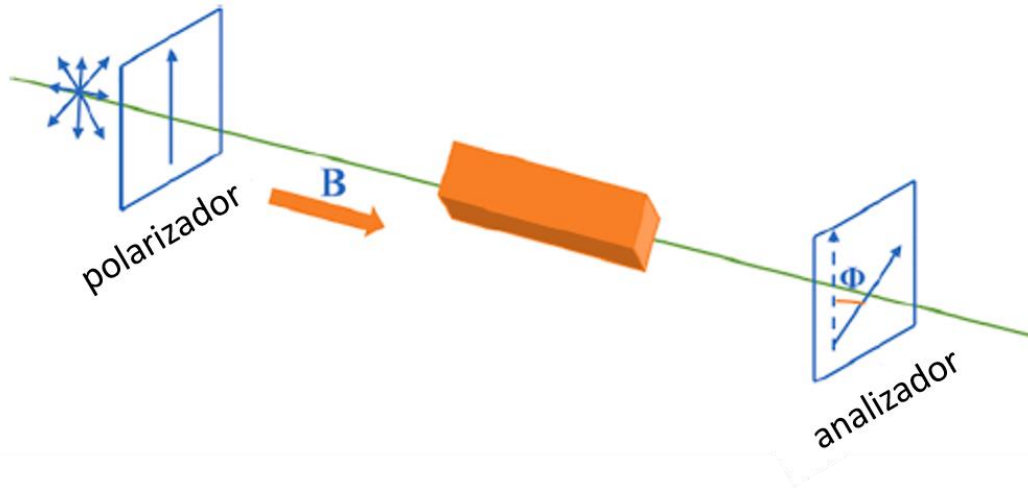


Figura 1: Esquema representativo do efeito Faraday

Para este tipo de sensores são utilizados materiais magneto-ótico dopados, tal como fibras de vidros inorgânicos, buscando desenvolver materiais que apresentem alta constante de Verdet, baixa absorção ótica em uma determinada faixa espectral de interesse, boa estabilidade, sensibilidade e integração industrial dos sensores, além de serem independentes da temperatura [4, 5].

Os íons de terras-raras como o Tb^{3+} , Eu^{3+} , Ce^{3+} , se destacam como dopantes de materiais magneto-óticos usados como sensores, devido sua alta constante de Verdet, que é causada pela transição $4f^n \rightarrow 4f^{n-1}5d$ destes íons [4]. Desta forma, quando é utilizado um material dopado com terras raras, a constante de Verdet é uma função do comprimento de onda incidente e da concentração de terras raras [4].

Nos sensores magnéticos de fibra ótica são utilizadas fibras compostas por dois vidros arranados no modelo núcleo-casca [1]. No caso específico do estudo de fibras ópticas de vidro com propriedades magneto-óticas, é imprescindível que os sistemas vítreos precursores contenham as seguintes características: presença de espécies paramagnéticas, valores consideráveis de constante de Verdet e boa estabilidade termodinâmica[5-7]. Vidros teluritos, calcogenetos, fosfatos contendo íons de metais de transição com características paramagnéticas e aluminossilicatos dopados com íons Tb^{3+} , apresentam propriedades magneto-óticas interessantes [8-13].

7. Referências:

[1] J., E. Lenz, IEEE, 78, 1990, 973–989,

[2] C. Liu; T. Shen; H. B. Wu; Y. Feng; J. J. Chen, Opt. Fiber Technology 65, 2021, 1-19

- [3] J. Ascorbe; J. M. Corres. Cham: Springer International Publishing, 2017. p. 269–299.
- [4] K. Linganna, S. Ju; Y. Lee; W. Han, J. Mat. Sci.: Mat.Elect., 30, 2019, 12790–12795
- [5] Q. Guo, J. Wen, Y. Huang, W. Wang, F. Pang, Z. Chen, Y. Luo, G-D. Peng, T. Wang, Measurement, 2018.
- [6] M. A. Schmidt, L. Wondraczek, H. W. Lee, N. Granzow, N. Da, P. S. J. Russel, Adv. Mater., 23, 2011, 2681 – 2688.
- [7] J. C. Suits, IEEE Trans. Magn., 8, 1972, 95.
- [8] C. B. Pedroso, E. Munin, A. B. Villaverde, J. A. M. Neto, N. Aranha, L. C. Barbosa, Opt. Eng., 38, 1999, 214 – 219.
- [9] Q. Chen, H. Wang, Q. Wang, Q. Chen, Appl. Phys. A, 120, 2015, 1001-1010.
- [10] Y. Ruan, R. A. Jarvis, A. V. Rode, S. Madden, B. Luther-Davies, Opt. Commun., 252, 2005, 39 – 45.
- [11] H. Akamatsu, K. Fujita, S. Murai, K. Tanaka, Appl. Phys. Lett., 92, 2008, 1 - 4.
- [12] Z. Chunxiang, Y. Hairong, L. Liying, T. Baojun, Mater. Rev., 11, 2008
- [13] Franco, D. F.; Manzan, R. S.; Orives, J. R.; Nalin, M.; Agência Unesp de Inovação (AUIN), Patente código INPI: BR 10 2019 027220 1, (depósito 19/12/2020).
- [14] Franco, D. F.; Ledemi, Y.; Correr, W.; Morency, S.; Afonso, C. R. M.; Messaddeq, S. H.; Messaddeq, Y.; Nalin, M.; Sci. Rep, 11(1), 1–16 (2021).
- [15] D. Manzani, Y. Ledemi, I. Skripachev, Y. Messaddeq, S. J. L. Ribeiro, R. E. P. de Oliveira, C. J. S. de Matos, Opt. Mater. Express, 1, 2011, 1515-1526.
- [16] Rosolem, J. B.; Chilloce, E. F.; Froridia, C.; Ghezzi, E. O.; Franco, D. F.; Bassan, F. R.; Lodi, T. A.; Nalin, M.; Júnior, J. R. N.; França, M. F., SBMO/IEEE (IMOC) Sens. J., pp. 40–42, 2023.
- [17] Gao, G. Winterstein-Beckmann, A. Surzhenko, O. Dubs, C. Dellith, J. Schmidt, M.A. Wondraczek, L., Sci Rep 5 (2015).