

Interrogação Óptica de Acelerômetros Micro-Eleto-Mecânicos

Gabriel Cenato¹, Vilson R. Almeida^{1,2}

¹ DCTA - Instituto Tecnológico de Aeronáutica – Pça. Mal. Eduardo Gomes, 50. 12180-900 – S. José dos Campos – SP – Brasil

² DCTA - Instituto de Estudos Avançados – Rodovia dos Tamoios s/n. 12180-900 S. José dos Campos – SP – Brasil

Resumo — Acelerômetros são dispositivos capazes de medir acelerações em um corpo, independentemente de qualquer informação externa. A tecnologia *MEMS* (Sistemas Micro-Eleto-Mecânicos) tem sido utilizada para a fabricação de acelerômetros com dimensões reduzidas, capazes de efetuar medidas de alta precisão. O trabalho proposto fará uso de interrogação óptica em acelerômetros *MEMS*, a fim de alcançar um método de medição confiável, imune à interferências eletromagnéticas, bem como realizar uma análise estrutural do dispositivo.

Palavras-Chave — *MEMS*, acelerômetros, interrogação óptica.

I. INTRODUÇÃO

Acelerômetros são dispositivos capazes de medir acelerações e vibrações sofridas por um determinado corpo em até três dimensões; sua alta sensibilidade às acelerações é extremamente útil a inúmeras aplicações. São componentes extremamente desejáveis às aplicações aeroespaciais. O setor aeroespacial brasileiro demanda independência tecnológica nessa área, que vem sendo perseguida por diversos projetos realizados no âmbito do DCTA/IEAv [1]-[2], incluindo acelerômetros da vertente tecnológica de Sistemas Micro-Eleto-Mecânicos (*MEMS*).

No Projeto AcelerAD, financiado pela FINEP, um grupo de pesquisadores do DCTA/IEAv e de outras instituições civis e militares vêm trabalhando no desenvolvimento e fabricação de acelerômetros *MEMS*, a fim de dominar a tecnologia envolvida e capacitar o Brasil na produção deste importante aparato tecnológico [1]. A Fig. 1 mostra a representação esquemática da região sensora do acelerômetro *MEMS* desenvolvido no Projeto AcelerAD.

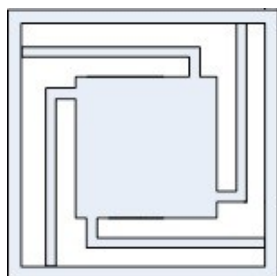


Fig. 1. Representação esquemática de um acelerômetro *MEMS*.

Normalmente, a interrogação (processo de leitura da informação de aceleração) é realizada por métodos eletrônicos; essa abordagem também será a utilizada nos acelerômetros *MEMS* previstos no Projeto AcelerAD. Contudo, em certas aplicações, é necessário garantir que a

leitura das informações fornecidas pelo acelerômetro seja imune a interferências eletromagnéticas do ambiente de operação. Desta forma, neste trabalho, a interrogação será realizada por meios ópticos, através da exploração da natureza interferométrica óptica da topologia estrutural, não-intencionalmente adotada para esse fim, no acelerômetro *MEMS* desenvolvido no Projeto AcelerAD.

II. OBJETIVOS DO ESTUDO

Os objetivos deste estudo são:

- Verificar a viabilidade do uso do efeito interferométrico óptico como método de interrogação do acelerômetro.
- Inspecionar a integridade, a topologia efetiva e a funcionalidade do acelerômetro, por meio de uma análise não-destrutiva do dispositivo.
- Medir o deslocamento da massa central do acelerômetro por meio da interpretação da resposta interferométrica óptica.

III. DESENVOLVIMENTO

Neste estudo serão utilizadas amostras de acelerômetros *MEMS* provenientes das etapas de desenvolvimento do projeto AcelerAD, com os quais espera-se obter os resultados descritos nos objetivos propostos, por meio de experimentos e simulações realizados nos laboratórios da EFO-S/IEAv.

O modelo será validado através de comparações entre simulações computacionais e medidas experimentais obtidas nas amostras do projeto AcelerAD. O feixe óptico (radiação infravermelho coerente) será emitido por uma fonte óptica (laser sintonizável e/ou diodo superluminescente), guiada até o dispositivo de teste através de uma fibra óptica monomodo, empregando-se comprimento de onda que pode estar entre 1280 nm e 1600 nm. A Fig. 2 ilustra a concepção de guiamento óptico até o acelerômetro.

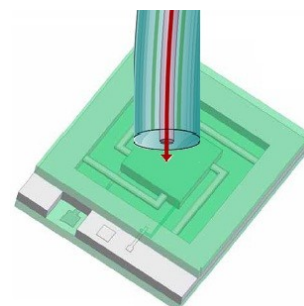


Fig. 2. Feixe óptico guiado por fibra óptica até o acelerômetro.

O feixe óptico, ao emergir da fibra óptica, tende a sofrer os efeitos da difração, fato indesejado para o estudo proposto, uma vez que parte da potência emitida seria perdida. Para contornar esse problema, deve-se, através de uma estrutura colimadora, transformar este feixe em um feixe óptico colimado; para isso, será utilizada uma estrutura colimadora de índice de refração gradual [5] conhecida como GRIN lens [3], capaz de transformar o feixe divergente em um feixe colimado, que apresenta características ópticas semelhantes às de uma onda plana. A Fig. 3 ilustra o efeito da GRIN Lens sobre o feixe óptico.

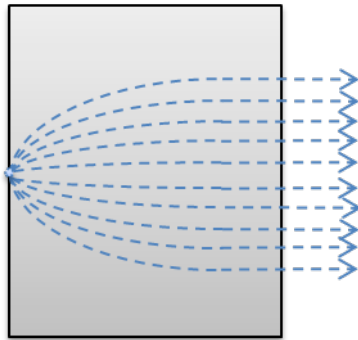


Fig. 3. Feixe óptico sendo guiado por uma fibra óptica monomodo até o dispositivo MEMS.

Dessa forma, o arranjo experimental para análise prática será composto, além da fonte óptica, por um guia óptico (fibra óptica monomodo), por uma estrutura colimadora (GRIN Lens) e pelo dispositivo MEMS (acelerômetro). A Fig. 4 ilustra o esquema experimental para interrogação óptica do dispositivo.

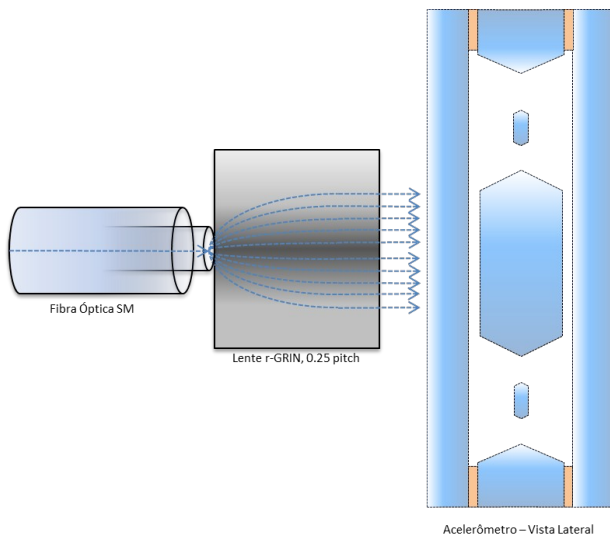


Fig. 4. Esquema experimental para interrogação óptica do dispositivo MEMS.

A iluminação do feixe óptico pode ser realizada sobre toda a extensão da estrutura do dispositivo MEMS, permitindo medir as propriedades interferométricas e, portanto, topológicas, em diferentes pontos da massa do acelerômetro.

A análise matemática considera as dimensões e os diferentes índices de refração ao longo do acelerômetro, conforme apresentado na Fig. 5, onde: $n_0 = 1$ (ar); n_1 corresponde ao índice efetivo do silício, incluindo as propriedades dispersivas desse material; a espessura das camadas internas em ar, com a massa do acelerômetro centralizada, é de $2 \mu\text{m}$; e a espessura de todas as camadas de silício é de $380 \mu\text{m}$.

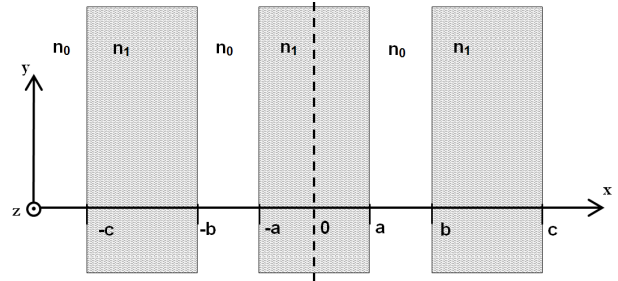


Fig. 5. Estrutura multicamadas unidimensional do Acelerômetro.

Por meio de simulações numéricas utilizando-se o Método de Transferência de Matrizes (Transfer Matrix Method – TMM) [4], onde as características de cada meio podem ser descritas como uma matriz 2×2 , pode-se verificar computacionalmente a resposta óptica (Refletância, “R”) do dispositivo óptico formado pela estrutura do acelerômetro.

Portanto, podemos equacionar os parâmetros medidos da seguinte forma:

$$\phi(\lambda)_i = \left(\frac{2 \cdot \pi}{\lambda} \right) \cdot n(\lambda)_i \cdot d_i \quad (1)$$

$$Q(\lambda) = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ n_i \cdot \cos(\phi(\lambda)_i) & -n_i \cdot \sin(\phi(\lambda)_i) \end{pmatrix}^{-1} \cdot M(\lambda) \cdot \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ n_i \cdot \sin(\phi(\lambda)_i) & -n_i \cdot \cos(\phi(\lambda)_i) \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$M(\lambda) = M(\lambda)_i \cdot M(\lambda)_{i-1} \cdot \dots \cdot M(\lambda)_1 \quad (3)$$

$$R(\lambda) = \left| \frac{M(\lambda)_{0,1}}{Q(\lambda)_{0,0}} \right| \quad (4)$$

Onde d corresponde ao comprimento unidimensional, e i ao índice subscrito que indica o meio em questão. (5)

Desta forma, cada meio resultará em uma matriz, no total de 5 matrizes (os meios externos ao acelerômetro não geram matrizes), tornando possível a simulação matemática da refletância R em função do comprimento de onda λ . A Fig. 6 ilustra a resposta óptica do acelerômetro.

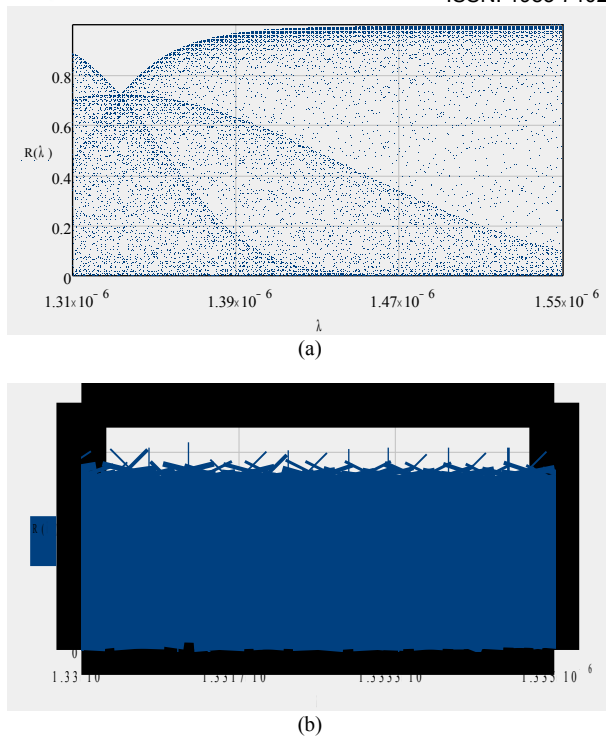


Fig. 6. Refletância obtida para: (a) onda plana propagando-se na direção $+x$, com $1310 \text{ nm} \leq \lambda \leq 1550 \text{ nm}$; (b) zoom em $1330 \text{ nm} \leq \lambda \leq 1335 \text{ nm}$, com a massa do acelerômetro centralizada (repouso).

O método *TMM* é robusto o bastante para notar variações na massa central do acelerômetro; a resposta óptica $R(\lambda)$, varia expressivamente para uma pequena oscilação do acelerômetro, o que confirma a funcionalidade e precisão da interrogação óptica do dispositivo. A Fig. 7 mostra a refletância em função do comprimento de onda para uma variação de posição da massa de apenas 20 nm.

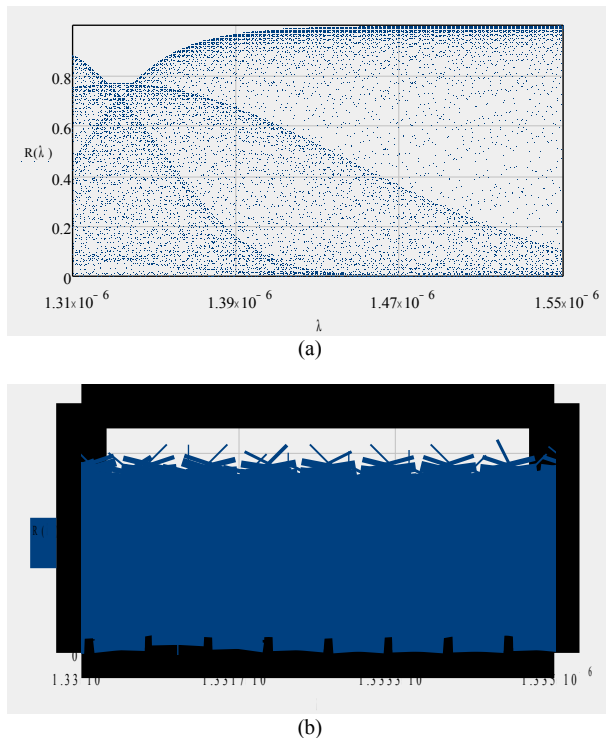


Fig. 7. Refletância obtida para: (a) onda plana propagando-se na direção $+x$, com $1310 \text{ nm} \leq \lambda \leq 1550 \text{ nm}$; (b) zoom em $1330 \text{ nm} \leq \lambda \leq 1335 \text{ nm}$, com a massa do acelerômetro deslocada de apenas 20nm.

Outro objetivo deste estudo é verificar se as amostras dos dispositivos *MEMS* estão oxidadas. É comum que durante a fabricação, devido à alguma falha no processo, haver uma camada de SiO_2 (dióxido de silício) apenas sobre a massa central do acelerômetro. A Fig. 8 ilustra esta nova configuração.

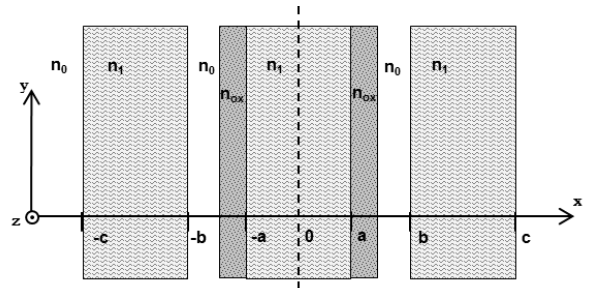


Fig. 8. Estrutura multicamadas unidimensional do Acelerômetro apresentando SiO_2 sobre a massa central.

Através do conjunto de equações do método *TMM*, podemos analisar a resposta óptica $R(\lambda)$ para este novo cenário, conforme mostra a Fig. 9.

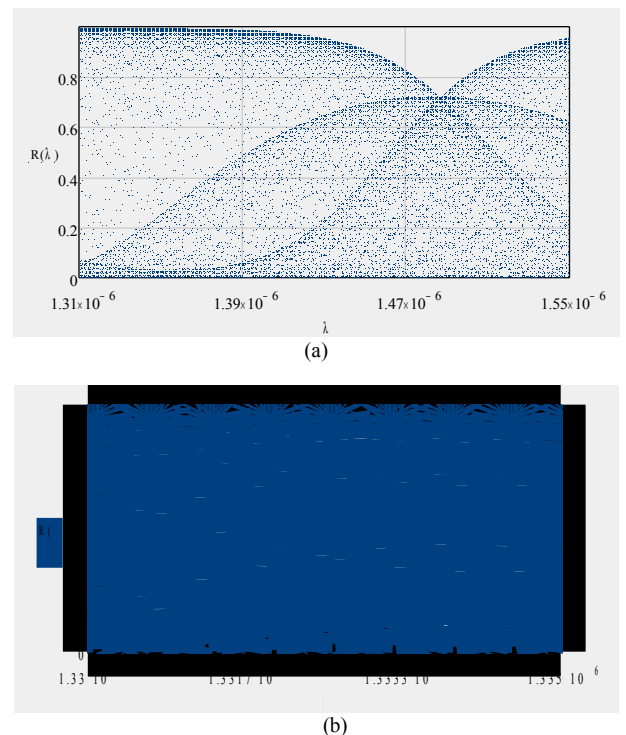


Fig. 9. Refletância obtida para: (a) onda plana propagando-se na direção $+x$, com $1310 \text{ nm} \leq \lambda \leq 1550 \text{ nm}$; (b) zoom em $1330 \text{ nm} \leq \lambda \leq 1335 \text{ nm}$, gap de ar reduzido devido à camada de SiO_2 sobre a massa central do acelerômetro.

IV. COMENTÁRIOS FINAIS

O domínio dos diversos aspectos tecnológicos de um determinado dispositivo, ainda durante seu processo de desenvolvimento, é relevante para seu aprimoramento futuro.

Com este trabalho, pretende-se obter uma técnica de interrogação óptica eficaz e confiável para análise, medida e inspeção das amostras de acelerômetros *MEMS*, de modo a

verificar a funcionalidade e a operacionalidade destes dispositivos.

O método de interrogação óptica apresentado mostra-se capaz de ler variações na posição espacial do acelerômetro, além de verificar sua integridade estrutural de forma não destrutiva; apresentando-se como uma ótima alternativa para análise de um dispositivo *MEMS*.

REFERÊNCIAS

- [1] C. F. R. Mateus et al.; Atividades de Pesquisa e Desenvolvimento – IEAv, ISSN 1983-1544, v.3, p.149, 2010.
- [2] R. M. Cazo et al.; Atividades de Pesquisa e Desenvolvimento – IEAv, São José dos Campos – SP, ISSN 1983-1544, v.2, p.119, 2009.
- [3] C. Gomez-Reino, M.V. Perez, C. Bao, “Gradient-Index Optics: Fundamentals and Applications”, Springer; illustrated edition edition, Jan 2002.
- [4] C. K. Madsen And J. H. Zhao, “Optical Filter Design and Analysis”, John Wiley & Sons, Inc., 1999.
- [5] C. R. Pollock, “Fundamentals of Optoelectronics”, Richard D. Irwin, Inc., 1995.

Gabriel Cenato, cenato@ita.br, Vilson R. Almeida, vilson@ieav.cta.br
Este trabalho foi financiado pelo FINEP, através do Projeto AcelerAD, ref. 1319/08, Convênio 01.09.0395.00. Vilson Rosa de Almeida é Bolsista de Produtividade Desen. Tec. e Extensão Inovadora do CNPq - Nível 2.