

Atenuador Óptico Variável Para Fibras Ópticas Plásticas (POF-VOA) com Controle Foto-Cromático

Marcello S. Machado, Ricardo M. Ribeiro, Odair S. Xavier, Andrés P. L. Barbero e Wagner S. Zanco

Resumo— Atenuadores ópticos variáveis (VOAs) são dispositivos ativos bastante úteis para enlaces a fibra óptica. Este trabalho, mostra o desenvolvimento de um VOA controlado por luz para fibras ópticas plásticas (POFs) – POF-VOA. O mecanismo de controle é baseado na opacidade foto-induzida em polímeros foto-cromáticos (PFCs) com o uso de LEDs de baixa potência emitindo no ultra-violeta próximo (395 nm). Foi possível induzir ~10 dB de atenuação numa portadora óptica em 525 nm que se propaga pela POF, utilizando $< 0,5 \text{ mW/mm}^2$ de densidade de potência óptica de controle.

Palavras-Chave—Atenuador Óptico Variável, Efeito Foto-Cromático, Fibra Óptica, Dispositivo Ativo, Polímero.

Abstract— Variable Optical Attenuators (VOAs) are useful active devices for fibre-optic links. We show the fibre-optic VOAs based on a photo-chromic polymer (PCP) for visible light carrier (525 nm) on PMMA plastic optical fibres (POFs) – POF-VOA. Up to ~10 dB attenuation dynamic range was reached using low optical controlling density-power ($< 0.5 \text{ mW/mm}^2$) from UV LEDs.

Keywords—Variable Optical Attenuator, Photo-Chromic Effect, Optical Fibre, Active Device, Polymer.

I. INTRODUÇÃO

VOAs são componentes ópticos ativos utilizados no controle da potência que se propaga num enlace de fibra óptica [1]. O mecanismo utilizado nos VOAs comerciais é geralmente de natureza mecânica (com partes móveis): filtro neutro com densidade óptica gradual controlado por motor-de-passo de forma que o feixe de luz colimado a partir da fibra óptica atravesse o filtro [1], indução de algum tipo de desalinhamento geométrico entre as duas extremidades da fibra óptica [1] e o uso de MEMs.

O trabalho [2] descreve um VOA baseado no efeito eletro-cromático, operante até 50 dB, testado apenas para 1310 nm. Um outro trabalho [3], descreve um VOA implementado num interferômetro de Mach-Zehnder, operante até 15 dB, onde a modulação de fase induzida em um de seus braços foi obtida com o uso de um material sol-gel foto-crômico. Neste último, deve-se notar, que a opacidade foto-induzida não é diretamente utilizada, mas sim a variação do índice de refração que pode ser obtida via relação de Kramers-Kronig.

Os autores mostraram recentemente e pela primeira vez [4], um VOA foto-cromático com modulação da amplitude adequado para feixes ópticos no espaço livre – FS-VOA. O presente artigo, mostra uma evolução do trabalho anterior, descrevendo então um VOA para a luz confinada em fibra óptica operando no visível (POF-VOA) com controle óptico foto-cromático de baixa potência utilizando LEDs ultra-violetas (UVs).

II. EXPERIMENTO

A Figura 1 mostra esquematicamente o aparato experimental. Um LED ultra-brilhante gera luz verde (525 nm) que é acoplada numa POF de PMMA (1 mm de diâmetro e abertura numérica de 0,50). No interior do POF-VOA, a luz emerge da POF sendo colimada com o colimador modelo 011-POF98. Atravessa uma espessura de 2,6 mm de um substrato de PFC iluminado (e então foto-enegecido) em ambos os lados por LEDs UVs posicionados numa distância de ~2,5 mm. Os LEDs UVs de 5 mm utilizados são da *Laser Roithner* (Áustria), modelo RLU395-8-30, 8 mW@20 mA com 30° de divergência. O PFC consiste num substrato de CR-607TM da *Transitions Optical Incorporation* [5,6] com 1,50 de índice de refração na designação comercial SOLFEXTM. Contém uma dopagem não revelada pelo fabricante [6], provavelmente obtida pela incorporação de moléculas orgânicas de natureza foto-crômica reversível como, por exemplo, as *naphthopyrans* [6,7]. Desta forma, o material sólido obtido, é capaz de tornar-se opaco em poucos segundos sob incidência de luz ultra-violeta, e depois retornar a transparência original, caso a incidência de UV tenha cessado. A luz visível colimada é então atenuada ao atravessar a região foto-enegecida e finalmente é focalizada de volta a POF com um colimador modelo 015-POF980. Ambos os colimadores são da WT&T (Canadá). A potência óptica de saída do POF-VOA é medida com um medidor de potência óptica modelo 2931 da Newport (USA) capaz de medir até -100 dBm.

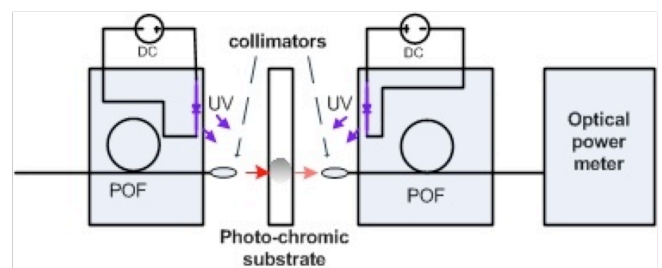


Fig. 1. Diagrama experimental do POF-VOA foto-cromático.

A Figura 2 mostra uma fotografia do POF-VOA em funcionamento (LEDs UVs ligados). O PFC sob incidência constante de luz visível, mantém-se sempre transparente (0,2 dB de atenuação por inserção).

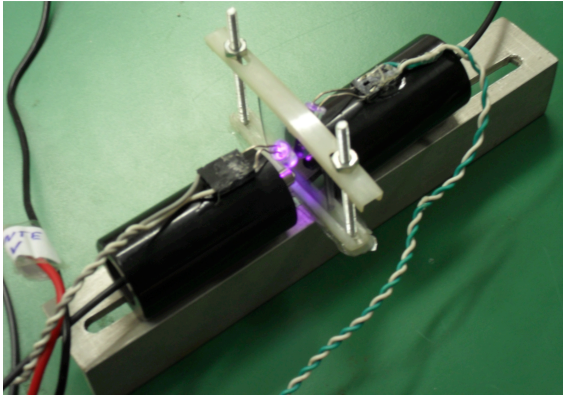


Fig. 2. Fotografia do POF-VOA em operação.

III. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 3 mostra a resposta de atenuação do POF-VOA atuando sobre um sinal óptico em onda contínua de 525 nm de comprimento de onda central (~ 30 nm de largura espectral) quando a corrente de alimentação I_{DC} do LED UV varia de 0 a 45 mA. De 0 a ~ 25 mA, a atenuação (em dB) aumenta quase linearmente com I_{DC} . De 25 mA em diante, a derivada diminui. Este comportamento segue o formato da curva de resposta $P_{UV} \times I_{DC}$ (em escala linear, não mostrado aqui). Acredita-se que a partir de 25 mA a eficiência quântica do LED UV diminui, e isto se reflete na resposta do POF-VOA, não significando necessariamente uma saturação do efeito foto-cromático.

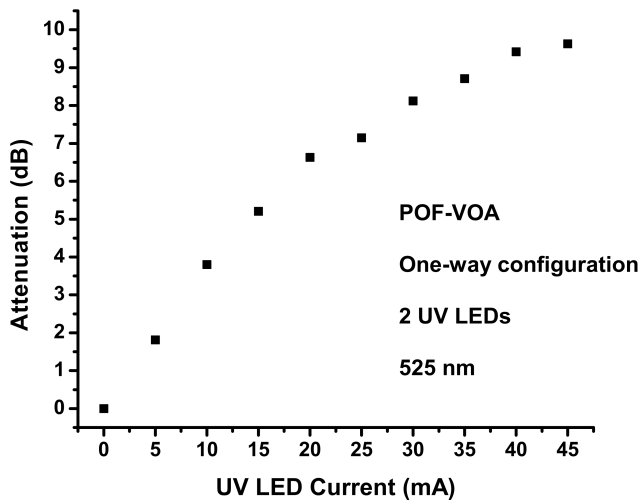


Fig. 3. Curva de resposta da atenuação do POF-VOA foto-cromático atuando sobre 525 nm em função da variação da corrente DC sobre o LED UV.

A Figura 3 mostra uma atenuação máxima $A_{max} \approx 10$ dB quando $I_{DC} = 45$ mA, usando dois LEDs UVs. Este último resultado pode ser comparado com o de $A_{max} = 8.2$ dB obtido com um FS-VOA [4] controlado com $I_{DC} = 50$ mA, porém usando apenas um LED UV. O POF-VOA é então capaz de induzir uma atenuação adicional de ~ 1.8 dB com uma corrente ligeiramente menor (45 mA). Este pequeno aumento de A_{max} deve-se ao fato de que um dos LEDs ilumina a face do PFC que contém uma espessura de ~ 200 μm de filme de moléculas

foto-cromáticas. A luz UV penetra no filme e cria um padrão de enegrecimento que depende da potência de luz UV, espessura do filme e concentração de dopantes. O outro LED UV ilumina o filme foto-cromático, porém incidindo através da face oposta. Portanto, este segundo LED está iluminando uma região já parcialmente enegrecida pela ação do primeiro LED e eventualmente provocando saturação foto-cromática. Desta forma, o segundo LED UV apenas consegue aumentar um pouco a faixa dinâmica de operação do POF-VOA com relação ao FS-VOA [4].

IV. CONCLUSÕES

Em resumo, é aqui descrito um POF-VOA (luz confinada em fibra óptica) que embora ainda esteja em fase inicial de desenvolvimento, se aproveita de conhecimentos e resultados adquiridos pelos autores no desenvolvimento do FS-VOA [4]. Embora o POF-VOA tenha apresentado um desempenho um pouco superior ao FS-VOA, o fato é adicionalmente valorizado pelo fato de que a colimação de luz a partir de uma fibra óptica multimodo de grande diâmetro (1 mm) e abertura numérica (0,5) não é algo trivial.

Em geral não é necessário que VOAs possuam resposta rápida, alguns segundos são normalmente aceitáveis em diversas aplicações. Entretanto, o retorno à transparência original é ainda bastante lenta para propósitos práticos [4], embora uma abordagem óptica já tenha conseguido uma diminuição do tempo de resposta. De qualquer forma, é requerido um maior conhecimento dos mecanismos por trás do efeito foto-crômico e o seu controle. Investigações continuam em andamento no LaCOP/UFF. Para o futuro, planeja-se então realizar uma série de pesquisas visando aperfeiçoar o protótipo: Caracterização da dependência de A_{max} como função do comprimento de onda da luz visível de prova, dependência da potência da luz de controle no UV, encapsulamento e redução do tamanho do dispositivo, construção do POF-VOA em configuração reflexiva [4], etc.

REFERÊNCIAS

- [1] O. Ziemann, J. Krauser, P.E. Zamzow and W. Daum, *POF Handbook: Optical Short Range Transmission Systems*, 2nd edition, Springer-Verlag, 2008.
- [2] M. A. Cowin, R. Varrazza, C. Morgan, R. V. Penty, I. H. White, A. A. Mc Donagh, S. Bayly, J. Riley, D. Ward and J. A. M. Cleverty, "Low power electrochromic variable optical attenuator with 50 dB attenuation range", *Optical Fiber Communication (OFC)*, paper WR6-1, 2001.
- [3] X. Ke, M. R. Wang, S. Song, D. Li and J. J. Yang, "All-optical controlled Mach-Zehnder based variable optical attenuator using photochromic sol gel material", *Frontiers in Optics (FiO)*, paper FThQ3, 2005.
- [4] R. M. Ribeiro, M. S. Machado, A. P. L. Barbero and O. S. Xavier, A New Variable Optical Attenuator Based on Photochromic Polymer, *19th International Conference on Plastic Optical Fibers (ICPOF 2010)*, Yokohama, Japan, 2010.
- [5] CR-607TM Monomer Product Bulletin, April 20, 2006.
- [6] C. N. Welch, E. M. King, L. G. Anderson, R. E. Daughenbaugh and K. J. Stewart, "Photochromic Polymerizable Compositions", *US Patent 6,998,072 B2*, 2006.
- [7] F. Ciardelli, O. Pieroni, A. Fissi, A. Altomare, R. Solaro and N. Tirelli, "Photochromic polymer: effects of structure and environment on photoresponsiveness", *Polymer for Advanced Technologies*, v. 6, n. 1, pp. 32-41, 1995.