

1 Introdução

O efeito eletro-óptico é imprescindível para a modulação da luz e a comutação de sinais ópticos, amplamente empregados em sistemas de comunicação óptica. Esse efeito pode ser utilizado para fabricar componentes ópticos, por exemplo, moduladores e conversores de frequência. A fabricação de moduladores em fibras ópticas com resposta comparável, mas que sejam ordens de grandeza mais baratos que os moduladores de Niobato de Lítio (LiNbO_3), é extremamente atrativa para aplicações futuras em sistemas tipo *fiber-to-the-home* para o controle da entrada e saída de sinais de televisão, vídeo, computador, telefone e outros serviços. A conversão de frequências é um efeito com importantes aplicações em diversos sistemas, como o de memórias holográficas, memórias ópticas em discos compactos (*CD's*), sistemas de *display*, e multiplexação de canais em sistemas de comunicação óptica.

Características tais como: transparência em uma larga faixa espectral, baixo custo, alto limiar de dano óptico, viabilidade de fabricação em estruturas guiantes (fibras ópticas), baixa perda e possibilidade de apresentar processos não-lineares intrinsecamente muito rápidos tornam a sílica um material excelente para aplicações ópticas. No entanto, vidros e fibras ópticas de sílica não apresentam não-linearidade óptica de segunda ordem, o que é necessário para a construção de conversores de frequência, moduladores e chaves eletro-ópticas.

Atualmente, cristais não-lineares como o KTP e o LiNbO_3 , utilizados nesse tipo de dispositivo eletro-óptico, têm um custo da ordem de milhares de dólares. Através das técnicas de polarização eletrotérmica e/ou ultravioleta (UV) de sílica é possível a geração de uma não-linearidade óptica de segunda ordem, induzindo uma susceptibilidade de segunda ordem efetiva no meio, viabilizando assim o desenvolvimento de dispositivos ópticos tais como moduladores eletro-ópticos e de chaves ópticas, que podem ser fabricados a partir de um material abundante e de baixo custo - sílica. A polarização eletrotérmica consiste no aquecimento do sistema vítreo (volumétrico ou fibra óptica) com a simultânea aplicação de uma

grande diferença de potencial ao longo da espessura da amostra, utilizando-se dois eletrodos, que tanto podem estar em contato com a amostra quanto evaporados sobre ela. O aquecimento tem como objetivo o aumento da mobilidade dos íons presentes na matriz vítrea (tipicamente íons positivos de sódio, alumínio, lítio, cálcio e potássio, que são impurezas não intencionalmente presentes no material). A aplicação da diferença de potencial ao longo da amostra aquecida permite o deslocamento desses íons de suas posições originais. Durante o processo, na região sob o ânodo, os íons positivos vão sendo retirados pela ação do campo elétrico aplicado, formando uma camada de depleção. Esta região torna-se cada vez mais negativamente carregada, gerando um campo elétrico interno \mathbf{E}_{dc} cada vez mais intenso. Acredita-se que um complicado processo de neutralização da camada de depleção ocorre durante a polarização, com a emissão de elétrons da amostra em direção ao ânodo, ou com a difusão de íons positivos do ar em direção à amostra. Quando a amostra é resfriada na presença da alta tensão, a configuração de cargas é congelada, e o campo \mathbf{E}_{dc} é permanentemente gravado na amostra. Após a retirada da amostra do forno, tem-se uma camada de cargas negativas a uma profundidade w da superfície anódica, uma camada de depleção neutra com espessura w , e uma camada de cargas positivas atraída para a superfície anódica pelo intenso campo elétrico no interior da amostra. Uma vez que se tem um campo elétrico gravado em uma certa região da amostra, a mesma tem sua simetria de inversão quebrada ao longo da direção de \mathbf{E}_{dc} . Uma não-linearidade de segunda ordem efetiva é então induzida na amostra, e acredita-se que $\chi^{(2)} \sim \chi^{(3)}\mathbf{E}_{dc}$, onde $\chi^{(3)}$ é o termo de terceira ordem da susceptibilidade do material (que é sempre diferente de zero, não importando se o material é ou não macroscopicamente simétrico por inversão).

A motivação principal deste trabalho é entender melhor o processo de polarização e otimizar o valor do $\chi^{(2)}$ induzido em sílica. Trabalhou-se tanto com amostras de sílica volumétrica, quanto com fibras ópticas especiais (*ACREO*). Um outro objetivo é o de acrescentar a confiabilidade nos resultados, caracterizando as amostras polarizadas pela medição da potência de segundo harmônico gerado e da largura de camada de depleção utilizando varias técnicas de caracterização. Por último, obteve-se uma melhor compreensão da física do processo de polarização, fazendo a caracterização de amostras vítreas apagadas durante a polarização com

anodos depositados de alumínio e ouro e de amostras vítreas atacadas quimicamente (de forma parcial e total) antes de ser polarizadas, para estudar a influência da condição inicial da superfície.

Uma introdução à óptica não-linear é feita no capítulo 2, introduzindo elementos da teoria da óptica linear e não-linear. Também é abordado neste capítulo o tema de geração de segundo harmônico, e são tratados os seguintes efeitos não-lineares: a teoria da geração do segundo harmônico e o efeito eletro-óptico.

No capítulo 3, faz-se uma descrição e um breve histórico de três métodos de polarização: Eletrotérmica, UV e Corona. O capítulo 3 descreve, também, algumas técnicas de caracterização de amostras vítreas polarizadas tais como: Ataque Químico Interferométrico Longitudinal com ácido fluorídrico, Maker Fringe, Microscopia Óptica e de Força Atômica (*AFM*), Ataque Interferométrico com Medição do Segundo Harmônico em Tempo Real e Interferômetro de Mach - Zehnder.

No capítulo 4 são descritos os procedimentos e as montagens experimentais utilizados para os experimentos de polarização eletrotérmica com amostras volumétricas de sílica. Também são apresentadas as montagens para caracterização de amostras polarizadas através de várias técnicas.

Os resultados obtidos através das técnicas de caracterização: Maker Fringe, Ataque Químico Interferométrico Longitudinal (com ácido fluorídrico), Microscopia Óptica e de Força Atômica (*AFM*) e Ataque Interferométrico com Medida de Segundo Harmônico em Tempo Real são apresentados no capítulo 5. É feita também uma comparação entre os resultados obtidos com cada técnica. Neste capítulo são discutidos também os resultados obtidos para a análise de superfície e a experiência de quatro pontos analisados em uma mesma amostra, através da técnica de ataque interferométrico.

No capítulo 6 é estudado o efeito do tratamento térmico no apagamento da não-linearidade induzida em amostras de sílica polarizada. O estudo foi realizado através da observação da dependência da espessura da camada de depleção (w) com o tempo de apagamento. O perfil da susceptibilidade de segunda ordem induzida durante a polarização é também estudado para amostras polarizadas e submetidas a tratamento térmico durante vários intervalos de tempo.

No capítulo 7 são descritos os resultados de medições realizadas para o estudo da influência do campo elétrico na taxa de ataque de HF nas fibras especiais.

No capítulo 8 descreve-se a construção de um dispositivo (fibra especial com eletrodos inseridos) à fibra e uma montagem para polarizar eletrotermicamente fibras ópticas especiais (*ACREO*), com o propósito de induzir uma não-linearidade de segunda ordem nestas fibras.

No capítulo 9 é proposto o desenvolvimento de um atenuador óptico variável (*VOA - Variable Optical Attenuator*) baseado em fibra óptica especial usando um interferômetro de Sagnac.

As conclusões são apresentadas no capítulo 10.