

7 Conclusões

Os tratamentos eletro-térmicos são tradicionalmente realizados em vidros e, atualmente, também em polímeros, para proporcionar a fabricação de dispositivos ópticos ativos nestes materiais baseados nos efeitos ópticos não-lineares gerados. Recentemente, foi proposta a utilização desse tipo de tratamento para modificar as características dielétricas do vidro boro-silicato na faixa de microondas, mas afirmando que somente é possível obter resultados em microondas utilizando tratamentos com temperatura superior a 450°C.

Este trabalho propôs a utilização do tratamento eletro-térmico para melhorar as características de atenuação por perdas dielétricas nos vidros tipo boro-silicato e sodo-cálcico. O objetivo final desse procedimento é melhorar as características desses materiais para utilização como substratos de microondas, uma vez que a fabricação de dispositivos eletro-ópticos ativos implica a construção de circuitos de RF para alimentar esses dispositivos.

Foram realizados tratamentos eletro-térmicos nos substratos de vidro em condições controladas. A camada de depleção de íons criada é compatível com o esperado pela teoria. Foi possível obter camadas de depleção de até 14 µm com temperaturas inferiores a 300°C. A literatura específica registra uma restrição experimental de 450°C como temperatura mínima necessária para o processo. Este trabalho conseguiu realizar camadas de depleção abaixo desse limite, significando uma contribuição importante para o estudo do processo de depleção de íons.

Foram selecionadas e implementadas metodologias para a caracterização das propriedades dielétricas nos vidros sem e com camada de depleção. As metodologias selecionadas se mostraram capazes de detectar as alterações, mas ainda precisam ser aperfeiçoadas para garantir a caracterização com precisão.

Foi observada uma redução de perdas em microondas no boro-silicato com depleção de íons e se mostraram de acordo com as simulações eletromagnéticas tridimensionais das estruturas. Este trabalho propôs a utilização do mesmo procedimento para obter redução nas perdas dielétricas do vidro sodo-cálcico,

obtendo resultados potencialmente positivos, embora essas perdas tenham se mostrado ainda superiores às do boro-silicato.

Métodos para caracterização em microondas das alterações nas propriedades dielétricas dos substratos foram selecionados e implementados, com o intuito de quantificar os efeitos obtidos pela polarização térmica e depleção de íons. Como esperado, foi constatado que as linhas CPW de espaçamento lateral estreito maximizam o efeito de redução nas perdas dielétricas efetivas pela criação da camada depleta de íons.

A existência e a profundidade da camada de depleção de íons foi verificada experimentalmente e foi desenvolvido um modelo aproximado para a simulação eletromagnética tridimensional dos circuitos planares em substratos depletados. O modelo foi validado comparando com resultados experimentais. O desenvolvimento e validação desse modelo reforça o conceito da alteração das propriedades dielétricas, antes apenas empírico.

Outra proposta deste trabalho foi a aplicação do tratamento eletro-térmico em substratos de alumina. Nenhum registro foi encontrado na literatura científica a respeito da aplicação deste tipo de tratamento na alumina. O objetivo, neste caso, não é a redução das perdas, uma vez que a alumina de substratos de microondas já apresenta tangente de perdas da ordem de 10^{-4} .

A aplicação que foi proposta visa à utilização do campo elétrico gravado na estrutura do material pela polarização térmica para gerar efeitos similares aos obtidos em materiais ferroelétricos. A aplicação de um campo elétrico externo de controle sobre a camada de depleção criada na alumina gera deformações no material (como nos cristais ferroelétricos), permitindo a sintonia de dispositivos planares de microondas fabricados naquela face do substrato.

Até onde se tem conhecimento, foi a primeira vez que se realizaram experimentos de polarização eletro-térmica em alumina. Pelo comportamento da corrente registrado durante o processo, conclui-se que há migração de íons na alumina durante o tratamento e, portanto, que o processo de polarização é possível. Esse resultado é novo e bastante significativo. A partir deste momento, o processo

Foram selecionados e implementados métodos para a caracterização dos efeitos obtidos em substratos de alumina submetidos a tratamentos em diferentes condições de temperatura, tempo e tensão aplicada. Foi implementada uma

montagem experimental que permitiu a aplicação de tensões de até 1 kV nos circuitos planares realizados em alumina. Entretanto, não foi observada alteração em seu comportamento na faixa de microondas.

As diretrizes de trabalhos futuros estão voltadas para três frentes. A primeira é aperfeiçoar os métodos de caracterização dos efeitos provocados nas propriedades dielétricas dos substratos na faixa de microondas. Em especial, desenvolver um procedimento de alta sensibilidade para investigar as alterações produzidas na alumina. A segunda é investigar outros materiais que podem se mostrar promissores nesta área, como a safira, o PLZT e a sílica.

A terceira frente é a otimização do processo de tratamento térmico. Acredita-se que com a otimização das condições do tratamento e o uso de estruturas de linhas de transmissão adequadas, e cuidadosamente projetadas, pode-se obter uma melhoria sensível nos resultados finais.

Um aspecto a ser observado é que, no caso da polarização térmica da alumina, não há referência conhecida para as variáveis envolvidas no tratamento. Assim, diferentes combinações de temperatura, tensão e tempo de aplicação ainda devem ser testadas visando a maximizar os resultados obtidos para sintonia. Combinações de tensões e temperaturas mais elevadas na polarização da alumina parecem promissoras e espera-se conseguir desenvolver em breve uma montagem experimental que permita sua aplicação.

Com a construção de uma base de dados experimentais, medidos em diferentes situações, e comparação com simulações realizadas no aplicativo CST Microwave Studio®, pode-se inferir quais modificações estão sendo produzidas na estrutura dos substratos. É necessário simular as possíveis alterações estruturais, representando a camada de depleção por um filme fino sob o circuito com características dielétricas (perda e constante dielétrica) diferentes do substrato original, assumindo diversas possibilidades de variação dessas características no caso de não haver depleção total dos íons dentro da camada de depleção.

Através de simulações mais elaboradas, podem ser propostos novas topologias e componentes que venham a fazer uso das características do substrato vítreo com depleção de íons. O uso de vidros como substratos para circuitos de microondas abre uma nova gama de soluções híbridas de óptica e microondas.

Por fim, é interessante investigar também se as alterações produzidas nos substratos têm caráter permanente ou semipermanente, o que pode ser realizado pela medição sucessiva dos componentes em diferentes intervalos de tempo após o tratamento eletro-térmico, na escala de semanas e meses. Caso as alterações não sejam permanentes, precisam-se identificar quais fatores alteram o decaimento dos fenômenos produzidos. Essas informações são fundamentais para a definição das possibilidades de aplicação do processo.