

7

Conclusões e sugestões para trabalhos futuros

O presente trabalho teve como objetivo analisar as vantagens e desvantagens da utilização de transformadores de impedância banda larga realizados em linha de transmissão planar em dispositivos optoeletrônicos. Através de uma análise no domínio do tempo foi possível avaliar a influência do TLT na propagação de pulsos elétricos curtos. Mostrou-se que o TLT introduz algumas distorções na forma de onda dos pulsos que se propagam através dele. Entretanto, avaliando o impacto da introdução de transformadores de impedância no desempenho de sistemas ópticos, verificou-se que apesar das distorções introduzidas pelo TLT, os benefícios proporcionados ao sistema decorrentes da inserção do TLT justificam sua aplicação.

Foi feita uma análise da influência dos parasitas do laser e da montagem na escolha do TLT. Conforme demonstrado, quando os parasitas do laser não assumem valores desprezíveis, o mais indicado é escolher um TLT capaz de adaptar uma impedância maior do que o valor da impedância puramente resistiva do laser.

Com o objetivo de realizar os transformadores de impedância em linha de transmissão (TLT) planar, banda larga, com desempenho satisfatório, compactos e com geometria simples buscou-se soluções para superar as limitações e os problemas encontrados até o momento para a realização prática dos mesmos.

Os transformadores de impedância apresentados nesta tese são do tipo linha de transmissão afilada Chebyshev, que apresenta uma série de vantagens em relação aos outros tipos de linhas.

Foram introduzidos e analisados novos tipos de configurações para a realização do transformador de impedância em linha de transmissão planar com tamanho adequado para sua integração aos dispositivos optoeletrônicos. Inicialmente, foi analisada a configuração CPW (*CoPlanar Waveguide*) convencional utilizando-se um substrato *bulk* de altíssima constante dielétrica ($\epsilon_r=80$), e verificou-se que esta configuração apresenta uma série de limitações.

Com o objetivo de superar as limitações impostas pela configuração CPW convencional foram então propostas duas novas alternativas, introduzindo configurações não-convencionais para a realização do TLT.

A primeira configuração proposta, obtida a partir da deposição de um filme de altíssima constante dielétrica sobre uma estrutura CPW convencional fabricada sobre substrato *bulk* de alumina convencional, foi denominada aqui de OCPW (*Overlayered CoPlanar Waveguide*), e apresentou desempenho bem superior, em termos de dispersão e do aparecimento de modos de ordem superior, em relação à configuração CPW convencional. Comparando-se os casos da configuração OCPW com filmes finos e espessos, observou-se que as estruturas que utilizam filmes finos apresentam desempenho superior.

A segunda configuração proposta, a QCPW (*Quasi-CoPlanar Waveguide*), além de apresentar as mesmas vantagens que a configuração OCPW, proporciona uma flexibilidade enorme em termos do projeto e permite realizar com facilidade impedâncias tão baixas quanto 3.5Ω . A descoberta da configuração QCPW foi tão promissora que justificou o depósito de uma patente.

Para realizar as configurações, OCPW e QCPW, que utilizam filmes de elevada constante dielétrica, foram desenvolvidos, em colaboração com os especialistas da UFC (Universidade Federal do Ceará), filmes de titanato de bário (BTO) e de CCTO. Como as propriedades dielétricas em baixa e alta frequências são bastante distintas, e elas dependem de diversos fatores, em particular da espessura do filme, surgiu a necessidade de desenvolver um método para a caracterização das propriedades dielétricas na faixa de frequências de microondas dos filmes fabricados. O método de caracterização proposto foi analisado teórica e experimentalmente, e se mostrou bastante adequado para os fins a que se destina.

As medidas na faixa de microondas utilizando o método proposto mostraram que a constante dielétrica do filme espesso de BTO é da ordem de 150, que é um valor adequado aos objetivos da presente tese. Entretanto, tais filmes apresentaram perdas bastante elevadas (tangente de perdas superior a 0.2) e uma qualidade mecânica aquém das necessidades. Apesar das diversas tentativas no sentido de melhorar a qualidade mecânica e de diminuir as perdas nestes filmes, os filmes disponíveis ainda apresentaram problemas.

Estes filmes foram fabricados com o intuito de permitir a realização prática dos TLTs nas configurações propostas, OCPW e QCPW, e comprovar

experimentalmente as previsões teóricas acerca do desempenho dos mesmos. Entretanto, com a qualidade mecânica dos filmes disponíveis não foi possível implementar a configuração QCPW. Apenas a configuração OCPW pôde ser implementada.

Foram fabricados TLTs na configuração OCPW capazes de adaptar 50Ω a 9.5Ω , e realizadas diversas medidas de caracterização dos mesmos. Os resultados experimentais corresponderam às previsões teóricas, mas o desempenho do TLT ficou bastante comprometido devido às perdas extremamente elevadas dos filmes. O TLT OCPW realizado com filme de BTO dopado com Germânio foi o que teve melhor desempenho, mas as perdas elevadas inviabilizaram sua utilização em um sistema óptico.

No futuro, quando estiverem disponíveis filmes com perdas menores e com qualidade superior será possível implementar, com sucesso, as configurações OCPW e QCPW. Com estes novos TLTs OCPW e QCPW será possível comprovar experimentalmente as previsões teóricas relativas à melhoria no desempenho da resposta óptica do laser e do sistema óptico digital.

Além disso, de acordo com as previsões teóricas, a utilização de filmes finos, ao invés de filmes espessos, para a realização dos TLTs nas configurações OCPW e QCPW resulta em propriedades ainda mais interessantes para o desempenho do TLT. Atualmente, já existem alguns grupos de pesquisa capacitados em confeccionar filmes finos de elevada constante dielétrica. Isto indica a possibilidade, num futuro próximo, de implementação também dos TLTs OCPW e QCPW utilizando filmes finos.

Finalmente é importante lembrar que, os TLTs tratados nesta tese podem ser empregados para melhorar o desempenho não só dos lasers semicondutores, mas também de fotodiodos. A melhoria na eficiência do acoplamento do sinal de RF gerado pelo fotodiodo aos sistemas de 50Ω , proporcionada pelo casamento de impedâncias devido ao TLT, resulta numa melhoria significativa do tempo de resposta do fotodiodo e, por conseguinte do tempo de resposta do sistema. Apesar desta aplicação ter sido pouco explorada nesta tese, ela merece bastante atenção, principalmente quando sistemas de altas taxas são considerados. No caso mais geral de um sistema óptico digital, é possível utilizar um TLT para acoplar o sinal

de RF ao laser e outro para acoplar o sinal de RF gerado pelo fotodiodo ao sistema.

As análises teóricas apresentadas nesta tese e a metodologia utilizada para a realização prática dos TLTs podem ser empregadas no desenvolvimento de novos TLTs com diferentes aplicações. É possível, por exemplo, desenvolver um TLT capaz de adaptar os 50Ω de impedância dos sistemas de RF às impedâncias elevadas dos moduladores de eletro-absorção. Ao utilizar as configurações OCPW e QCPW, será necessário aplicar filmes de baixa constante dielétrica, ao invés de filmes de elevada constante dielétrica.

Para finalizar, é interessante mencionar que os filmes de elevada constante dielétrica apresentam também uma propriedade de sintonia do valor da sua constante dielétrica com um campo elétrico aplicado. Esta propriedade vem sendo amplamente explorada para o desenvolvimento de diversos componentes sintonizáveis. Dependendo do potencial aplicado ao filme, é possível obter uma variação no valor da constante dielétrica da ordem de 50 % em relação ao seu valor sem a aplicação de campo. Esta propriedade pode também vir a ser explorada nos TLTs. Neste caso, seriam obtidos TLTs com valores de impedância sintonizáveis com a aplicação do campo.