

1 Introdução

A utilização de estruturas de ondas guiadas em circuitos planares tem se mostrado uma técnica promissora, apresentada na literatura como “Substrate Integrated Circuits” (SICs) [4,5]. Esta nova tecnologia permite o desenvolvimento de componentes de microondas, ondas milimétricas e RF por meio de guias de ondas dielétricos com substratos de baixa constante dielétrica e sem perdas, que garantem a eficiência e a integração destes dispositivos. Diferentes tipos de estruturas SICs tem sido apresentadas na literatura [6]: SIW (Substrate Integrated Wave Guide), SISW (Substrate Integrated Slab Waveguide), SINRD (Substrate Integrated Non-Radiating Dielectric), SIIDG (Substrate Integrated Image Dielectric Guide), SIINDG (Substrate Integrated Inset Dielectric Guide) e SIIG (Substrate Integrated Insular Guide).

As técnicas de fabricação de circuitos planares conhecidas como HTCC (Hightemperature Co-fired Ceramic), LTCC (Low Temperature Co-fired Ceramic) e MMIC (Monolithic Microwave Integrated Circuits) têm se mostrado satisfatórias para o desenvolvimento dos componentes e circuitos de ondas guiadas [6]. Especial atenção tem sido dedicada às estruturas de casamento de impedância entre as linhas planares e os guias [7,8,9] nas altíssimas frequências empregadas.

Até o presente momento, a quase totalidade das aplicações dos guias dielétricos envolvem sistemas passa-faixa devido ao comportamento multimodo com frequência de corte apresentado por estes guias. Observa-se ainda que nas interconexões implementadas entre elementos de circuitos no interior de integrados VLSI (Very Large Scale Integration) utilizando microstrip, slotline, CPW etc, verificam-se grandes dificuldades a partir de 50GHz, não observados com a utilização dos guias dielétricos.

Estudos computacionais atualmente avaliam a otimização das tecnologias de ondas guiadas aplicadas a interconexões de circuitos de alta velocidade como uma opção para resolver problemas de integridade de sinais, radiação, perdas, interferência etc [6,10]. Aplicações em circuitos digitais de altas taxas têm apresentado dificuldades devido a

respostas de frequência banda larga destes circuitos incluam componentes “DC” e frequências significativamente inferiores às frequências de corte dos guias.

Os objetivos principais deste trabalho de Tese consistem na pesquisa, dimensionamento e desenvolvimento de conexões de ondas guiadas realizadas por meio de substratos semicondutores (SiGe, GaAs). A integração de sistemas digitais através de guias S-SIWG (Semiconductor Substrate Integrated Waveguide) utilizando formatos de modulação QAM permite a transposição de espectros NRZ ou RZ para espectros passa-faixa. Desta forma torna-se possível ativar conexões no interior de chips e entre-chips ultra-rápidos destacando-se aplicações associadas ao novo padrão Gigabit Ethernet 802.3ba operando na taxa de 100 Gb/s (100 GHz) estendendo-se a aplicações de 500 GHz a 1,5 THz.

Como objetivos adicionais podem ser mencionadas a utilização de substratos de fibra de vidro com altas perdas e baixo custo (FR-4), Teflon e substratos cerâmicos de alta constante dielétrica ($\epsilon_r=80$) no desenvolvimento de dispositivos de microondas e sistemas analógicos e digitais de altas taxas integrados em um único substrato.

Diferentes ferramentas computacionais de simulação eletromagnética e de circuitos de microondas são utilizadas neste trabalho, como o ADS (AgilentTM Advanced Design System) [17], O CST (3D Eletromagnetic Simulation Microowave Studio®) [18] e o HFSS (3D Full-Wave Electromagnetic Field Simulation) [19]. Resultados experimentais são analisados e comparados com os simulados. Para tal, são utilizadas técnicas de fabricação de circuitos impressos e equipamentos de testes e medições do laboratório de Microondas do CETUC, assim como técnicas de corte e furação a laser de Silício Germânio (SiGe) no Brasil [40].

O trabalho está dividido da seguinte forma: no capítulo 2 são avaliadas as condições de contorno, os modos de propagação e as estruturas de casamento para o dimensionamento dos guias SIWG nos substratos de altas perdas e altas constantes dielétricas.

No capítulo 3 o desenvolvimento de subsistemas de ondas guiadas em um único substrato é introduzido, como por exemplo o circuito radar na banda S e na banda X proposto para ser implementado no substrato FR-4 e no substrato Titanato de Bário ($\epsilon_r=80$), incluindo a caracterização e realização de um filtro em SIWG - FR-4 centrado em 10 GHz.

No capítulo 4 são introduzidas as dificuldades existentes no desenvolvimento de circuitos VLSI (Very-large-scale integration) em muito alta velocidade. Estas dificuldades estão associadas a retardos, atenuação e limitação das conexões em microlinhas acima de 50

GHz e aos procedimentos de paralelização dos fluxos digitais (NRZ e RZ). Considerando estas dificuldades, a utilização de guias S-SIWG (Semiconductor Substrate Integrated Wave Guide) é avaliada como alternativa no desenvolvimento de conexões inter-chip e intra-chip utilizando substratos de SiGe e GaAs. São destacadas as aplicações em sistemas digitais associados ao novo padrão Gigabit Ethernet 802.3ba / 100 GBs e futuras aplicações na faixa de (0,3-1,5) Terahertz.

No capítulo 5, os guias S-SIWG são realizados em SiGe na faixa de 15 - 60 GHz e avaliados segundo as dificuldades de caracterizações envolvidas. Como prova de conceito para testes, um protótipo de SIWG em R6010 (Teflon) foi realizado e os resultados obtidos na sua caracterização reproduzem as simulações realizadas de acordo com as especificações e estão limitados a 40 GHz devido aos equipamentos disponíveis no CETUC.

Finalmente o capítulo 6 apresenta os comentários finais e conclusões, sendo destacadas as principais inovações da presente tese e a possibilidade de trabalhos futuros.