

PSI3482– ANTENAS, MICROONDAS E ÓPTICA MODERNA

Profa. Ariana Serrano aserrano@usp.br sala C2-62
Prof. Gustavo Rehder gprehder@usp.br sala C2-66
2018

Linhas de transmissão planares

- Baseia-se num substrato com camadas dielétricas e metálicas
- Todos os tipos de circuitos (ativos e passivos)
- Tipos de Linhas de Transmissão planares:

Ênfase
deste
curso



– Microstrip line

– Stripline

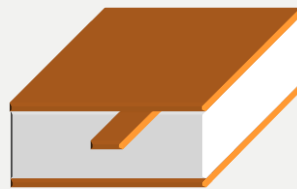
– Coplanar waveguide

– Slotline

– SIW – Substrate Integrated Waveguide “Guia de onda enterrado no substrato”



Microstrip line



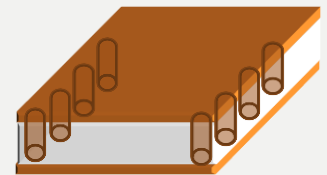
Stripline



Coplanar waveguide



Slotline



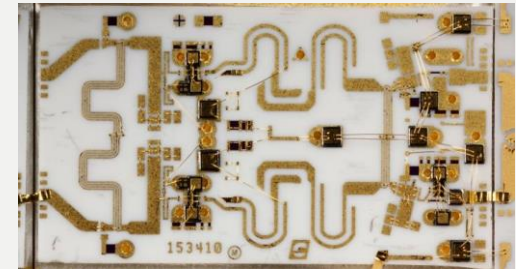
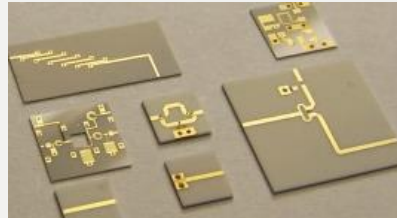
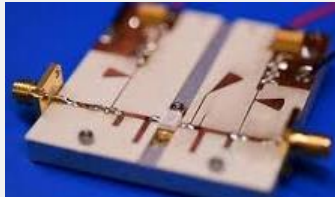
SIW

Fabricação

Ênfase deste curso

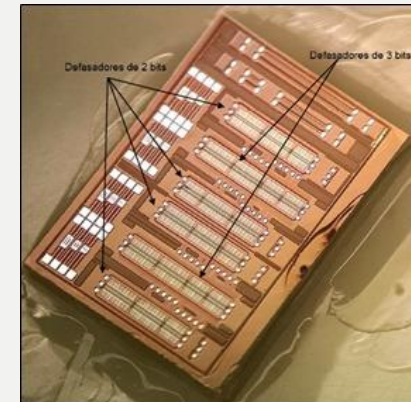
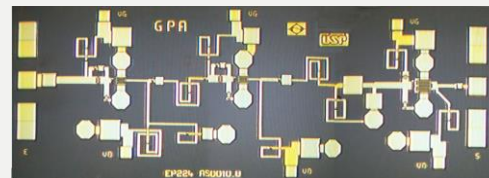
■ Integrada híbrida:

- Linhas de transmissão e circuitos passivos fabricados num substrato (elementos distribuídos), no qual são montados elementos ativos e passivos (discretos);
- Tecnologias PCB, filme fino e espesso.



■ Integrada monolítica (fabricação de chip):

- Ativos e passivos fabricados num mesmo substrato semiconductor
- Tecnologias:
 - Mercado de produção em massa (+ barato):
 - Si (CMOS, BiCMOS etc);
 - Mercados específicos (+ caro):
 - GaAs; SiGe; InP



Microstrip - substrato

■ Substrato: “sanduíche” metal-dielétrico-metal-...

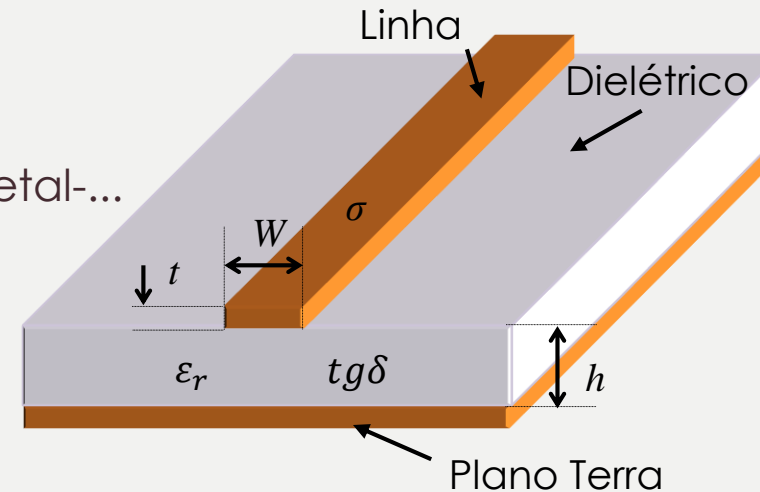
– Dimensões

- t : espessura do metal
- W : largura da linha
- h : espessura do substrato

– Características:

- σ : condutividade do metal
- ϵ_r : constante dielétrica do substrato
- $\text{tg}\delta$: tangente de perdas ou fator de dissipação

- Circuitos híbridos - dielétrico: cerâmica, PTFE, fibra de vidro, etc o
- Circuitos monolíticos - semiconductor: silício, GaAs, InP, SiGe, etc
- Condutor: cobre, ouro, alumínio, etc



Microstrip - características

- Propagação com campos quasi-TEM

- Constante dielétrica efetiva:

$$\epsilon_{ef} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2\sqrt{1 + 12\frac{h}{W}}}$$

- Velocidade de fase:

$$v_\phi = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_{ef}}}$$

c = velocidade da luz no vácuo

- Comprimento de onda:

$$\lambda = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_{ef}}}$$

no vácuo

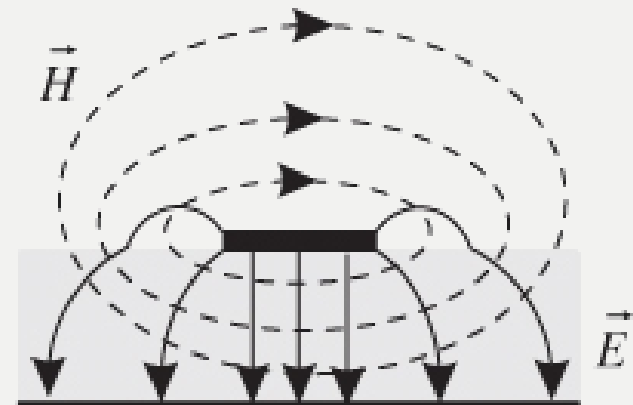
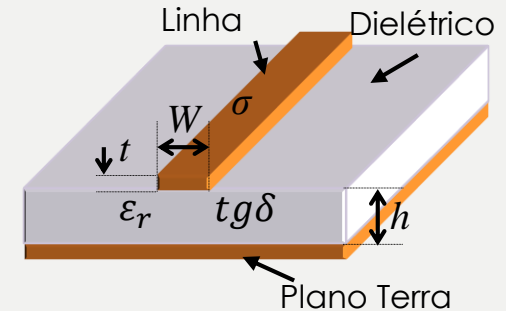
- Impedância característica:

- Para $W/h \leq 1$ e $t/W \ll 1$:

$$Z_0 = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_{ef}}} \ln \left(\frac{8h}{W} + \frac{W}{4h} \right)$$

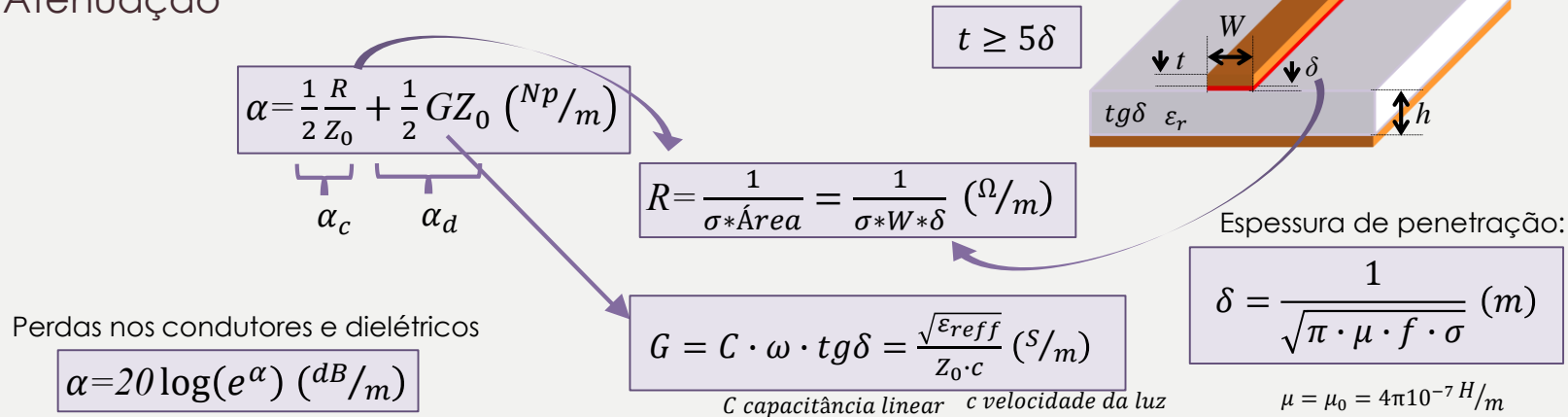
- Para $W/h \geq 1$ e $t/W \ll 1$:

$$Z_0 = \frac{120\pi}{\sqrt{\epsilon_{ef}} \left[\frac{W}{h} + 1,393 + 0,667 \ln \left(\frac{W}{h} + 1,444 \right) \right]}$$



Microstrip - perdas

■ Atenuação



■ Faixa de operação da microlinha

- De DC até f_{max} :

$$f_{max} = \frac{c}{4h \cdot \sqrt{\epsilon_r}}, \quad \text{para } W < 2h$$
 - Aumento das perdas com o aumento da frequência
 - Dispersão – variação de ϵ_{ef} com a frequência
 - Excitação de outros modos de propagação: TE, TM

ADS – Advanced Design Software

- LineCalc (calculadora - analítico)
- Schematics (simulador elétrico - analítico)
- Momentum (simulador eletromagnético 2,5D (Momentum) e 3D (Elementos Finitos))

Simulação de linhas Microstrip

- Simule uma linha de transmissão até 15 GHz utilizando um substrato comercial:
 - Escolha um substrato para circuitos em alta frequência e anote as características que serão utilizadas em projeto (ex.: <https://www.rogerscorp.com/index.aspx>);
- Calcule pelas formulas dadas as dimensões de uma linha com $Z_0=50 \Omega$
- No LineCalc:
 - Determine as dimensões de uma linha com $Z_0=50 \Omega$ e $Z_0=XX \Omega$
- No Schematics (faça um gráfico para S11 e coloque todas as respostas; o mesmo para os outros parâmetros):
 - Simule as linhas no substrato escolhido sem perdas
 - Verifique a conservação de energia para as linhas escolhidas
 - Simule a linha com condutor real e dielétrico ideal e verifique a conservação de energia
 - Simule a linha com dielétrico real e condutor ideal e verifique a conservação de energia
 - Simule a linha com perdas nos condutores e no dielétrico e verifique a conservação de energia
 - Verifique a fase da linha de transmissão

Simulação de linhas Microstrip

- No Schematics:
 - Simule um trecho de linha de tamanho $\lambda/4$ em 3 GHz terminado em aberto no meio da linha de 50Ω
- No Momentum:
 - Simule as linhas no substrato escolhido
 - Simule um trecho de linha de tamanho $\lambda/4$ em 3 GHz terminado em aberto no meio da linha de 50Ω
- Compare os resultados Schematics x Momentum