

# PSI3482 – ANTENAS, MICROONDAS E ÓPTICA MODERNA

Profa. Ariana Serrano [aserrano@usp.br](mailto:aserrano@usp.br) sala C2-62  
Prof. Gustavo Rehder [gprehder@usp.br](mailto:gprehder@usp.br) sala C2-66  
2019

# 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

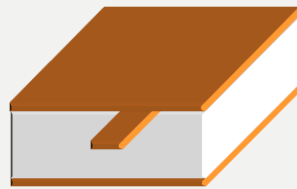
- Coplanar waveguide

- Slotline

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



Microstrip line



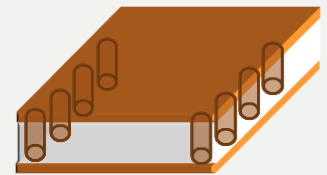
Stripline



Coplanar waveguide



Slotline



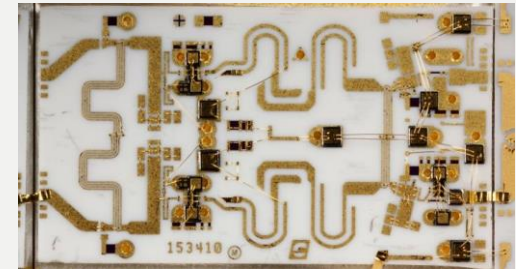
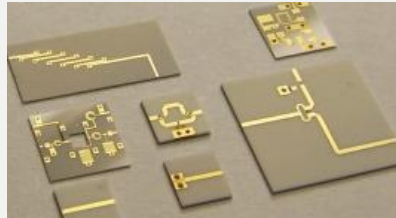
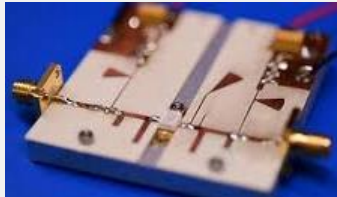
SIW

# Fabricação

Ênfase deste curso

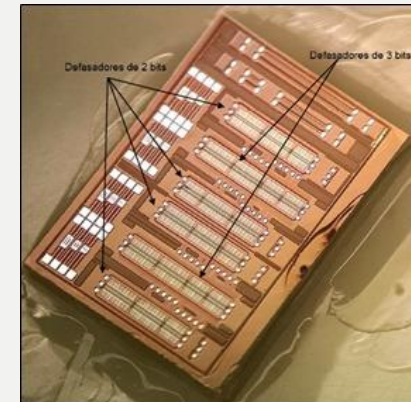
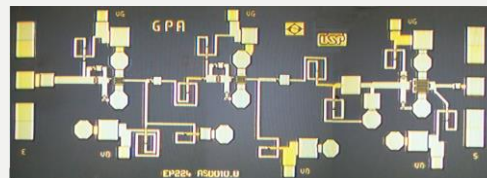
## ■ Integrada híbrida:

- 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-...

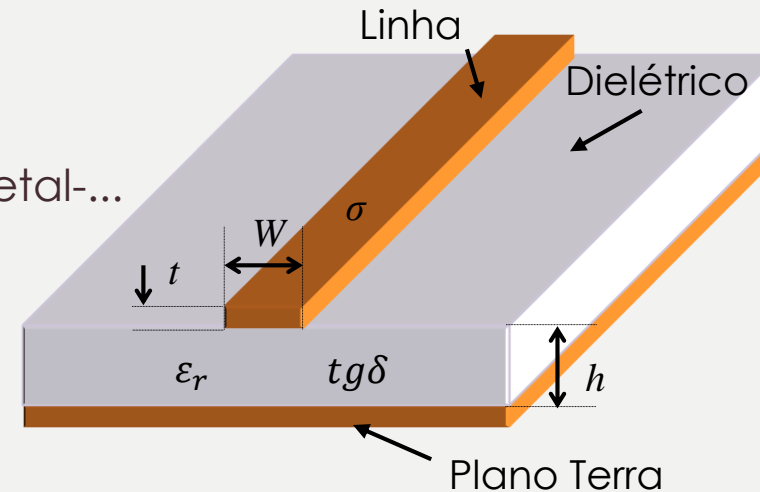
### - Dimensões

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

### - Características:

- $\sigma$  : condutividade do metal
- $\epsilon_r$  : 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

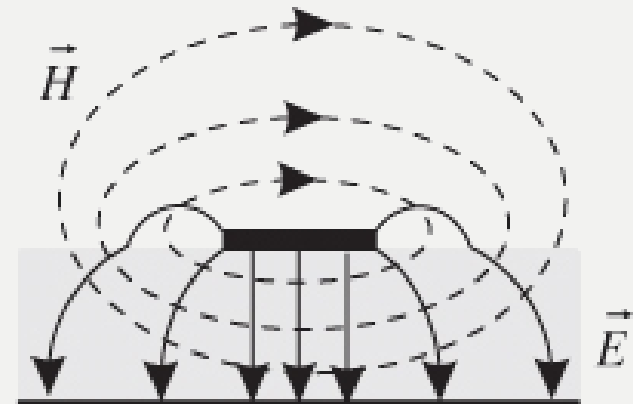
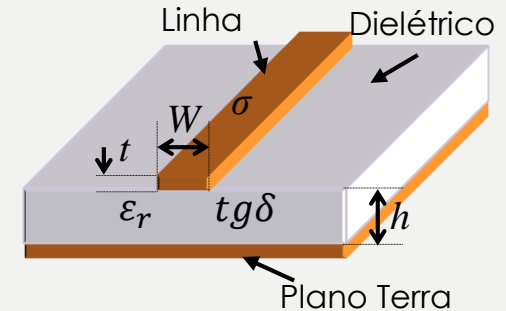
- Impedância característica:

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

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

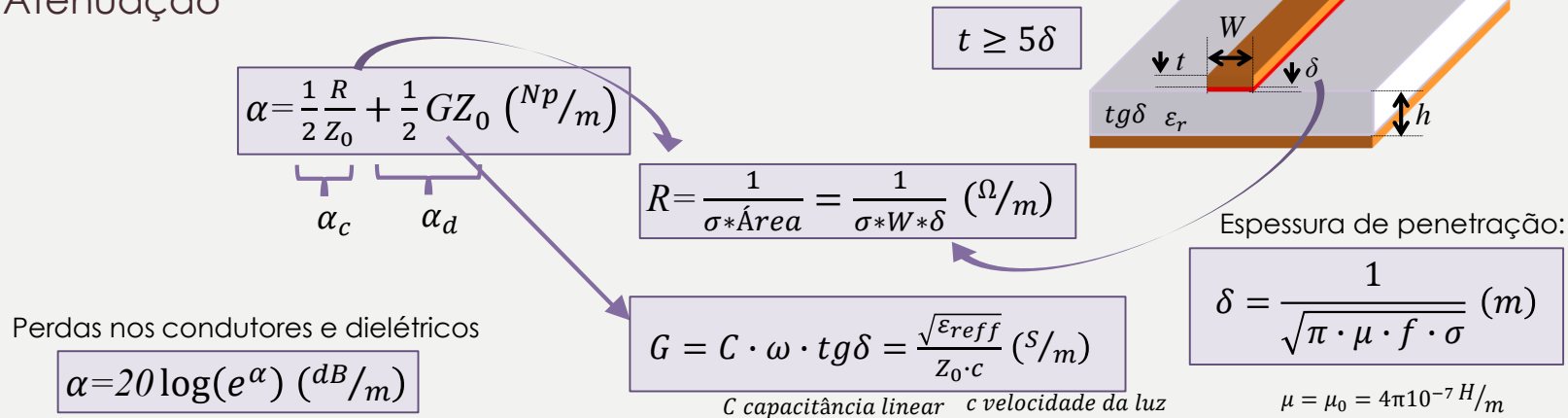
- Para  $W/h \geq 1$  e  $t/W \ll 1$ :

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



# Microstrip - perdas

## ■ Atenuação



## ■ Faixa de operação da microlinha

- De DC até  $f_{max}$ :
 

$f_{max} = \frac{c}{4h \cdot \sqrt{\epsilon_r}}, \text{ para } W < 2h$

  - Aumento das perdas com o aumento da frequência
  - Dispersão – variação de  $\epsilon_{ef}$  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  $50 \Omega$
- 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  $50 \Omega$
- Compare os resultados Schematics x Momentum