

into para uma gama de  $0^{\circ}\text{C} - 100^{\circ}\text{C}$

28 / 02 / 2022

## SENSORES INTEGRADOS

SENSOR DE TEMPERATURA PT100  $\rightarrow$  é muito conhecido temperatura  
é um fio de platina cuja a  $\Delta R$  pela  $T$  é  
dada por: variação da resistência

$$R_t = R_0 (1 + \alpha T + \beta \cdot T^2) \rightarrow \text{ver tabela}$$

Considera-se que  $\beta$  é muito pequeno ( $\sim 10^{-7}$ ) e por  
isso para fazer os cálculos podemos dizer:  $\rightarrow$  aproximação da equação

$$R_t = R_0 (1 + \alpha T)$$

e por isso dizemos que  $R$  é proporcional a  $T$

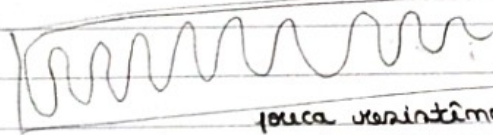
$\downarrow$   
muito utilizado em microeletrónica (e circuitos  
integrados).

conseguimos radiar a  
sendo condutor podemos fazer corrente devido  
a  $R$  nos terminais

$\downarrow$   
 $= 100 \Omega$  Mas em microeletrónica,  $R$  pode  $\tilde{m}$  usar  $100 \Omega$ ,  
pode ter outros valores (PT5, exemplo).

$\rightarrow$  Comercialmente, quando  $\tilde{m}$  continua a usar  $\tilde{m}$  usa necessariamente  
pedimos um PT100 dão - um sensor de temperatura o PT100!!  
- mas um PT100 na mesma!!

NOTA: usando um material condutor, temos uma resistência.



$\rightarrow$  a platina é boa  
pouca resistência condutor mas tem uma  
resistência muito baixa (o fio de platina), e por isso

$\otimes$  fazemos uma linha enrolada (para ter + resistência)  
e fina.  
 $\rightarrow$  as curvas é para poder ocupar a área toda!

$\otimes$  Para que podemos trabalhar, usamos um fio muito enrolado  
e fininho para que seja da ordem dos  $\mu\text{m}$  e depois colocamos  
em zigue-zague para que o dispositivo  $\tilde{m}$  seja tão compacto

O sensor de temperatura tem a platina (a PT100) e outros  
contactos eléctricos (que têm vão ser sensíveis à temperatura).  
Por isso, vai ser enrolada (para ter +  $R$ ), como mostra em cima,  
para tornar + desprezável possível esta sensibilidade.

Todos os materiais usados em microeletrónica são muito sensíveis,  
todos com coeficientes próximos.



nome específico

dá para qualquer valor de R

EXERCÍCIO 1 → PT100  $\xrightarrow{\text{nome igual}}$  RTD  $\equiv$  resistance temperature dependent

→ para o RTD (sem contar os terminais que ligam ao exterior)

Área → 1 mm x 0,5 mm

PT100 → R = 100  $\Omega$

Resolução → 25  $\mu\text{m}$

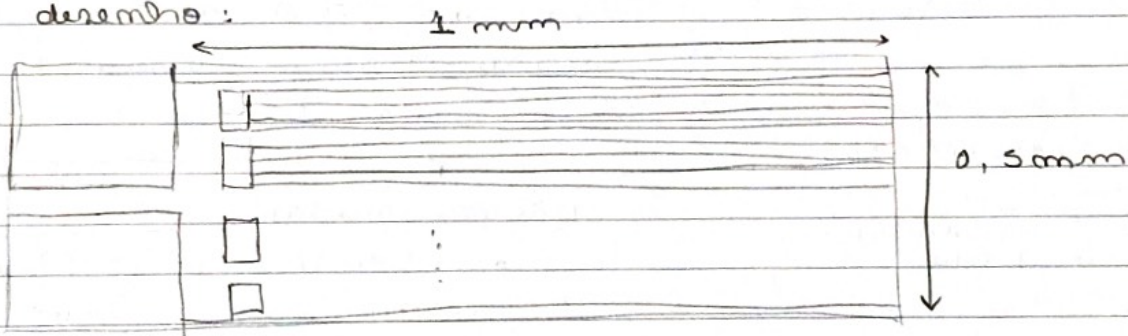
→ a linha só pode ser  $\geq$  a 25  $\mu\text{m}$  (ou o espaço entre linhas)  
→ maior ou igual

→ caso contrário, pode acontecer curto-circuitos ou colocar o sistema em curto-circuitos (basicamente, para que seja "permitido" o seu bom funcionamento)

Para resolver o problema, precisamos de saber as características da platina:

$$\rho = 10,5 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$$

Em desenho:



10 mº de linhas que cabem nos 0,5 mm:

$$N = 0,5 / (25 \mu\text{m} + 25 \mu\text{m}) = 10 \text{ linhas com } 1 \text{ mm por } 25 \mu\text{m}$$

A resistência total é:

$$R = \rho \cdot L / (w \cdot t)$$

resistividade

comprimento do RTD  
largura da linha

A espessura do filme vai ser:

$$100 = 10,5 \times 10^{-8} \cdot 10 \cdot 1 \cdot \text{mm} / (25 \mu\text{m} \cdot t) \Rightarrow t = 420 \text{ nm}$$

é aceitável  
para a microeletrônica

A partir de que valores é que é aceitável para a microeletrônica a espessura do filme?

→ De 50 nm a 1  $\mu\text{m}$  é aceitável na microeletrônica.





fez o exercício e volta  
a resolvê-lo

EXERCÍCIO 2 → Extensômetro → num extensômetro, pretendemos  
obter a tensão e  $\epsilon$  a temperatura

Área →  $1 \text{ mm}^2$

$R = 120 \Omega$

Material = constante

filme →  $1 \mu\text{m}$  de  
espessura

é o mínimo que a  
máquina consegue fazer  
→  $100 \text{ g/cm}^2$

$\epsilon$  é muito

sensível à temperatura

a)

Basicamente,

começamos a usar a

imagem do exercício anterior (por exemplo)

é muito usado para fabricar

extensômetros (devido à sua

baixa dependência da temperatura)

por isso, vamos usar alguns valores anteriores ficando  
com:

$N = 10$   
nº linhas  
(de  $1 \text{ mm}$ )

$$R = \left( \frac{1}{2} \times 10^6 \times 10 \times 1 \times 10^{-3} \right) / \left( 50 \times 10^{-6} \times 1 \times 10^{-6} \right) = 100 \Omega$$

queremos  $120 \Omega$  mas mesmo  
assim já temos um tanto de  
partida.

daqui:

$$w = 1 \text{ mm} / (10 + 9) = 50 \mu\text{m}$$

então vamos a considerar  
10 linhas e 9 espaços

podemos mudar:

- o nº de linhas
  - comprimento
  - largura da  
linha
- mas implica  
mudar  
completamente  
o desenho

ou seja, reduzindo

o  $w$  apenas:

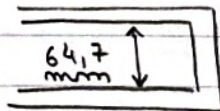
$$120 = \left( \frac{1}{2} \times 10^6 \right) \times 10 \times 1 \times 10^{-3} / (w \times 1 \times 10^{-6}) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow w = 41,7 \mu\text{m}$$

largura da linha (azul)

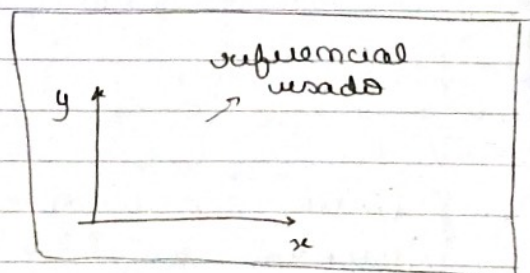
as linhas ficam  
espaçadas

o resto, para dar os  $100 \mu\text{m}$ , o espaço em branco  
fica com  $64,7 \mu\text{m}$ :



b)

sensibilidade no eixo XX e eixo YY??



se deformar-se o extensômetro no  
eixo dos XX, vai aumentar o comprimento e vai reduzir  
a largura e/ou a altura (?), aumentando a resistência.



(...)

Uso eixo dos YY, a corrente para na vertical, e se uso a dimensão  $\square$  é + sensível à perturbação no eixo dos YY



ou seja, para saber a sensibilidade temos que saber a resistência das dimensões em cada um dos eixos.

→ ver (ouvir)!

Comp. em xx →  $L_x = 1 \text{ mm} \cdot 10 = 10 \text{ mm}$  (dimensão)

Comp. em yy →  $L_y = 9 \cdot 64,7 \mu\text{m} = 582 \mu\text{m}$  (espaços em branco)

$$R = \frac{PL}{wt}$$

→ Não esquecer que:  $P, w, t$  são = para x e y (mudam e são dados na

sendo a relação entre as resistências: enunciado)

$$\frac{R_x}{R_y} = \frac{PL_x}{wt} \cdot \frac{wt}{PL_y} = \frac{L_x}{L_y} = \frac{10 \text{ mm}}{582 \mu\text{m}} = 17$$

Logo,  $\frac{L_x}{L_y} = 17$  → daqui retiramos que o extensômetro tem 17x + sensibilidade na horizontal que na vertical.

Como agora queremos que seja 100x + sensível na horizontal, temos que pelo menos cumprir 1 mm!

→ Vamos tentar reduzir a resistência em y,  $R_y$ !

Vamos ter que aumentar  $R_x$  e diminuir  $R_y$  (ou apenas um deles)

$$\frac{L_x}{L_y} = 100 = \frac{R_x}{R_y}$$

Comp. em xx →  $10a + 20d$

Comp. em yy →  $9c$

(d) → espessura do fio

substituindo na expressão de R:

$$R_x = \frac{P 10a}{dt}$$

$$R_y = \frac{P 9c}{d^2 t}$$

(2) → mantém-se inalterado

NOTA: a fita que está pintada não é considerada em yy, apenas em xx

$$\frac{R_x}{R_y} > 100 \Leftrightarrow \frac{10a}{d} \cdot \frac{d^2}{9c} > 100$$

$$a + 2d = 1 \text{ mm}$$

$$10d + 9c = 1 \text{ mm}$$

$$R_x + R_y = 120 \Omega \Leftrightarrow \frac{P 10a}{dt} + \frac{P 9c}{d^2 t} = 120 \Omega$$

d maior → resistência maior → corrente + baixa





## P-N JUNCTION TEMPERATURE SENSORS

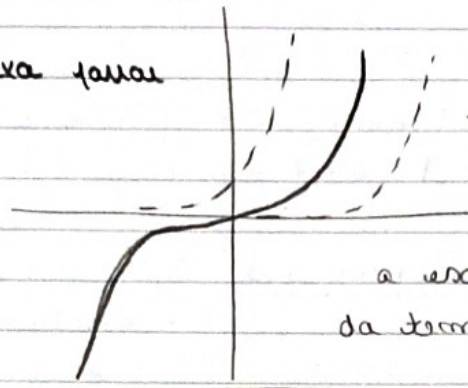
Os semicondutores, usam-se diodos como sensores de temperatura!

tem que ser polarizado diretamente

é fácil de fazer e assim conseguimos estruturar tudo com esse material

a partir de um certo valor de corrente, ele começa a conduzir: de uma determinada d.d.p. entre os terminais ( $\geq 0,6/0,7V$ )

basicamente, deixa passar corrente.



=> curva característica

desloca-se para a esquerda, com o aumento da temperatura (ou vice-versa)

=> deslocar para

se passarmos um pouco de tensão nos terminais do diodo, o mesmo vai aquecer.

a direita com a diminuição da temperatura

este gráfico representa a característica de funcionamento em função da temperatura da junção PN, + tipicamente do diodo.

frio ← tensão alta

quente ← tensão baixa

A corrente no diodo é dada por:  $I = I_0 (e^{qV_d/mkT} - 1)$

basicamente, a tensão é diretamente proporcional a  $T$  (em K) de forma linear a temperatura

$$V_T = \frac{k \cdot T}{q} \equiv (V_T)$$

tensão no diodo

$$V_D = \ln \left( \frac{I}{I_0} \right) * m * V_T$$

índice de variação - é constante

tem a ver com o processo de fabrico

corrente que se passa

corrente no diodo

→ corrente baixa, pouco aquecimento

basicamente, é que aquece!

Potência dissipada => é a potência que vai gerar o calor

NOTA: não convém que aqueça muito porque senão não mede a temperatura de outros, só a dele.

SENSORES MAGNÉTICOS

elétrico

baseados no Efeito de Hall: é quando num condutor e passa uma corrente por ele e aplicamos um CM nele, a corrente desloca-se + para um lado do que para o outro, formando uma diferença de potencial.

desloca-se num determinado sentido

esta diferença de potencial é proporcional ao CM aplicado ou tensão



basicamente, muda resistência na presença de um CM.

AMR  $\equiv$  materiais magnetoresistivos

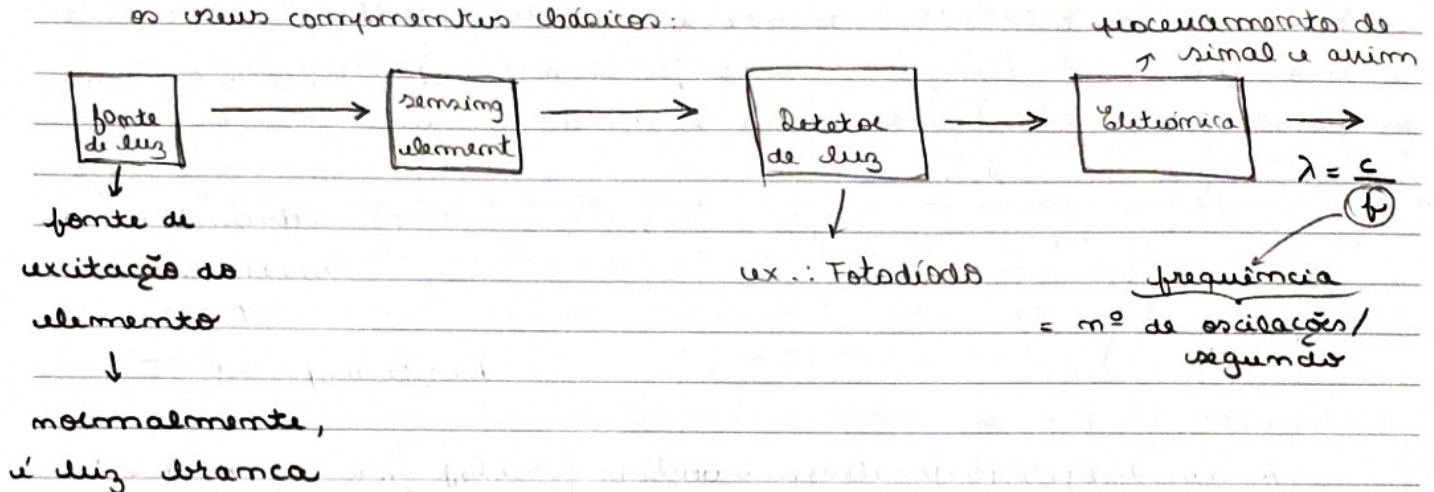
$\rightarrow$  a resistência varia com o CM

A sua variação é muito pequena (assim como era com os termómetros), sendo que depois utilizamos um sistema que amplifica uma variação.

**SENSORES ÓTICOS**

$\rightarrow$  são + usados na região do visível

os seus componentes básicos:



Os sensores óticos baseiam-se na gama total do espetro eletromagnético, apesar de haver uma maior quantidade de sensores da zona do visível!

nesta região, a absorção da luz ocorre quando os fotões são excitados de um nível de energia para outro (que seja superior)

A absorção da luz de uma molécula depende não só da sua estrutura como do  $\lambda$  da luz,

$\rightarrow$  comprimento de onda da luz  
 $=$  a distância entre 2 picos adjacentes

Energia de um fotão  $\rightarrow$  inversamente proporcional ao  $\lambda$

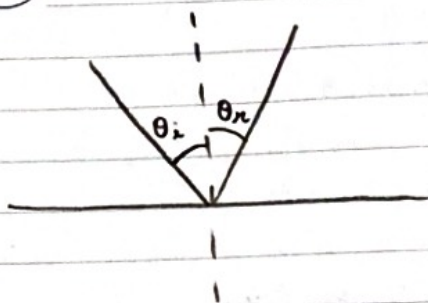
$\rightarrow$  vai determinar a transição que vai ocorrer

$$E = \frac{h \cdot c}{\lambda} = h \cdot f$$

$\rightarrow$  velocidade da luz

Constante de

Planck ( $= 6,626 \times 10^{-34} \text{ m}^2 \text{ kg / s}$ )



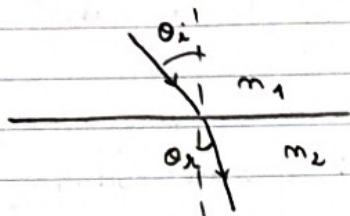
### 1ª LEI DA REFLEXÃO

→ indica o  $\angle$  de reflexão comparando o valor do  $\angle$  de incidência:  
 $\sin(\theta_i) = \sin(\theta_r)$

2ª LEI → raio incidente, raio refletido e a normal ao espelho no ponto de incidência estão todos no mesmo plano, que é o plano de incidência

### 3ª LEI

Passando à REFRAÇÃO, temos a lei de Snell - Descartes que indica que os  $\angle$  (incidentes e de refração) dependem do material de junção (onde incide):



$$n_1 \sin(\theta_i) = n_2 \sin(\theta_r)$$

## TÉCNICAS ÓTICAS

### Espectrofotometria por Absorção (?)

- Absorção na gama da luz visível ← é muito fácil em microdispositivos

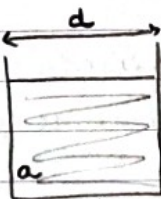
transmitância:  $T = \frac{I_{\text{final}}}{I_{\text{inicial}}}$

onde

$$I_{\text{final}} = I_{\text{inicial}} \exp(-ad)$$

(A) =  $-\log(T)$   
 ↳ absorção

$I_{\text{inicial}}$



↑ amostra

(d) → caminho ótico (comprimento do caminho percorrido pela luz na amostra)

Se quisermos fazer sensores óticos muito sensíveis é adiantado aumentar a intensidade da fonte incidente porque a propagação é a mesma.

0. que afeta mesmo é se formos atuando o "d", isto é, o caminho ótico (que é onde é feita a absorção).

Há sensores óticos integrados em microsistemas, onde é preciso conseguir aumentar o caminho ótico para aumentar a sensibilidade.



Logo,  $+d \Rightarrow +$  sensibilidade.

### • Fluorescência

$\rightarrow$  aplica-se a materiais que produzem uma determinada luz fluorescente quando sujeitos a um feixe de luz da gama mecânica ultravioleta.

DESVANTAGEM: tem um pequeno tempo de vida (muitas vezes na ordem dos nanossegundos)

$\rightarrow$  é raro haver coisas que fluorescem

O processo de absorção e fluorescência funcionam em conjunto, uma vez que para haver fluorescência tem que haver absorção.

Só há fluorescência (ou seja, é emitida) se o fotão descer muito rapidamente do nível de excitação para o fundamental.

O comprimento de onda do feixe de radiação incidente é superior ao  $\lambda$  que o corpo emitirá no processo de fluorescência

\*3  $\rightarrow$  basicamente, é aplicada a moléculas excitadas para níveis de energia + elevados através da absorção de radiação eletromagnética

NOTA: nem todas as moléculas têm potencial para fluorescer!!

$(r_f) \rightarrow$  nº de moléculas que fluorescem

$(r_{mf}) \rightarrow$  nº de moléculas que não fluorescem

$$F = I_0 \times \phi \times (1 - 10^{-\epsilon c d})$$

$\downarrow$   $\downarrow$   $\downarrow$   $\downarrow$   $\downarrow$

$I_0$   $\phi$   $\epsilon$   $c$   $d$

intensidade da fonte emissora de luz  
coeficiente de absorção molecular  
concentração  
caminho ótico

a fluorescência é proporcional à intensidade da fonte emissora de luz (que é a parte + importante que afeta a fluorescência)

eficiência quântica ( $0 < \phi < 1$ ):

$$= \frac{r_f}{r_f + r_{mf}}$$





Na prática, uma das coisas + importantes é não deixar que o fotodetector seja capaz de detectar a luz de excitação, ou colocando o detector a  $90^\circ$  da fonte de excitação ou colocando um filtro que não permita a passagem de radiação com o  $\lambda$  do feixe de excitação.

### • Quimiluminescência

→ não precisa de fonte de luz (que é a parte + complexa da ótica com microeletrônica). Produz-se por reações químicas.

### • Bioluminescência

→ Produzem luz recorrendo a reações entre proteínas.

→ Como não é necessária fonte de luz, então retira a dificuldade da integração de fontes de luz.

tem características vantajosas

### • SPR → o + utilizado é o ouro (a prata e o cobre oxidam)

Estes sensores usam ondas de plasma de superfície e vai analisar as reações produzidas na superfície do sensor. Baseia-se muito na reflexão (lei de Snell - Descartes) e a reflexão interna total, dependendo do  $\theta$  do eixo incidente.

acontece após o  $\theta$  crítico dado por

$$\theta = \sin^{-1}\left(\frac{n_1}{n_2}\right) \text{ e tem de ser o conjunto metal - dielétrico!}$$

(se não se observa este efeito)

NOTA: estes sensores têm uma sensibilidade à temperatura, pois dependem dos índices de refração.

Se tivermos uma série de detetores num array e soubermos qual é a posição de cada fotodetector, conseguiríamos dizer o  $\theta$  analisando qual dos sensores contém um maior valor de corrente.

① Filme metálico precisa de ser de um bom metal, que tenha vários e- de valência.