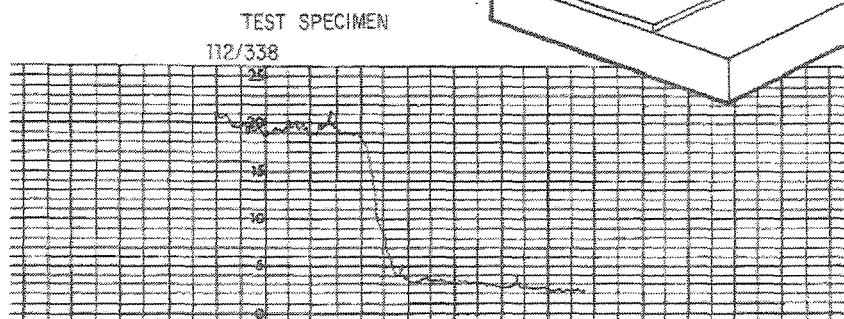
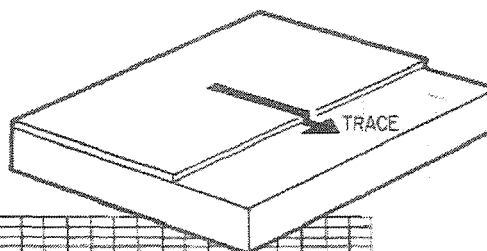
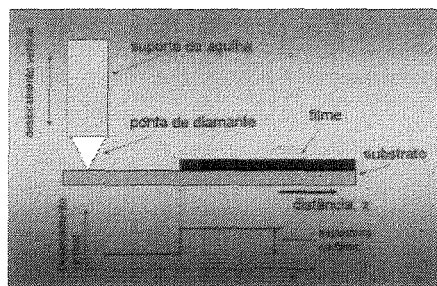


## MEDIDAS DE ESPESSURA E MASSA DEPOSITADA

### PERFILOMETRIA

Num perfilômetro de alta resolução, a agulha se desloca na direção x e o deslocamento vertical, y, é registrado em função de x. A coordenada y é calibrada em nm.



Silver deposit on glass substrate. Step left by removal of masking. Graph details:

Vertical magnification	X 1 000 000
1 small division =	20 angstroms
Horizontal magnification	X 200
1 small division =	0,025 mm
Thickness of deposit measured between mean lines	approximately 300 angstroms (30 mm on chart)

(b)

## DETERMINAÇÕES DE ESPESSURA E MASSA DEPOSITADA BALANÇA DE CRISTAL DE QUARTZO

São dispositivos também chamados de *osciladores de cristal de quartzo* que determinam pequenas quantidades de massa depositada empregando o efeito piezoelétrico.

Uma pastilha fina do cristal com contatos em ambas as faces faz parte de um circuito elétrico. O campo ac no disco induz oscilações cuja frequência de ressonância é

$$f = c_t / 2 d_q$$

$c_t$  = velocidade de propagação da onda elástica na direção da espessura

$d_q$  = espessura da pastilha.

Dois desses dispositivos são mostrados na Fig. 54. O filme (depositado na face inferior das pastilhas) altera a frequência de ressonância e sua massa é determinada pelo desvio dessa frequência.

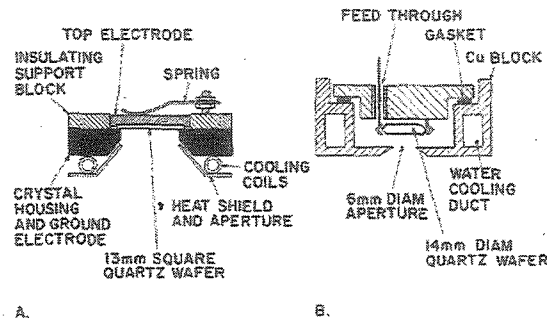


Fig. 54 Oscillator crystal holders for deposition monitoring. (A) After Behrardt and Love.<sup>114</sup> (B) After Pulker.<sup>110</sup>

Nos osciladores a cristal de quartzo, esse desvio também pode ser afetado pela temperatura do cristal. Para qualquer ângulo de corte do cristal, a frequência de ressonância é afetada pela temperatura, o que é determinado pelo *coeficiente de temperatura da frequência* (TCF). Para minimizar o efeito da temperatura, escolhe-se o ângulo de corte para a pastilha a  $35^\circ 20'$  com o eixo *c* do cristal, denominado de *corte AT* (ver próximo slide). A frequência de ressonância  $f_0$  para esse corte é

$$f_0 = N / d_q \quad (1)$$

$N = 1,67 \times 10^6 \text{ Hz mm}$

$d_q$  = espessura da pastilha (mm).

# DETERMINAÇÕES DE ESPESSURA E MASSA DEPOSITADA BALANÇA DE CRISTAL DE QUARTZO

A Fig. 51 exibe a dependência do desvio de  $f_0$  com a temperatura do cristal. Como se pode ver, o desvio é pouco significativo para temperaturas de até 100 °C, que são temperaturas normais de operação da balança.

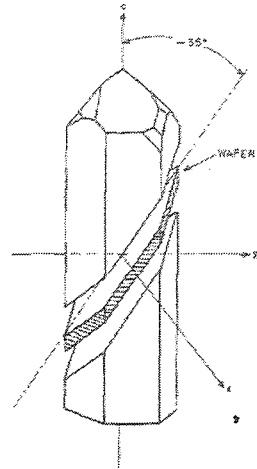


Fig. 50 Quartz crystal with AT cut wafer.

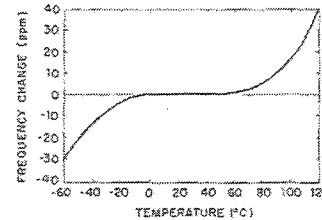


Fig. 51 Frequency change vs. temperature for an AT crystal cut at 32°20'.

Se uma pequena massa,  $\Delta M$ , é adicionada a um, ou ambos os lados da pastilha, o desvio da frequência de ressonância é

$$\Delta f_0 = - K f_0^2 \Delta M / (N \rho_q A_m) \quad (2)$$

$K =$  constante  $\approx 1$

$N = 1,67 \times 10^6$  Hz mm

$\rho_q =$  densidade do quartzo ( $2,65 \text{ g cm}^{-3}$ )

$A_m =$  área do cristal coberta pelo filme ( $\text{cm}^2$ ).

O fator de proporcionalidade na Eq. (2)

$$f_0^2 / N \rho_q = C_f \quad (3)$$

é chamado de *sensibilidade de massa do cristal*.

# DETERMINAÇÕES DE ESPESSURA E MASSA DEPOSITADA BALANÇA DE CRISTAL DE QUARTZO

A Fig. 52 mostra a dependência de  $f_0$  e  $C_f$  na espessura do cristal. Quanto mais fino for o cristal, maior a sensibilidade.

Tal sensibilidade tem um limite, pois  $\Delta f_0$  deixa de ser linear em  $\Delta M$  se a espessura do filme depositado deixa de ser pequena em comparação com a espessura do cristal.

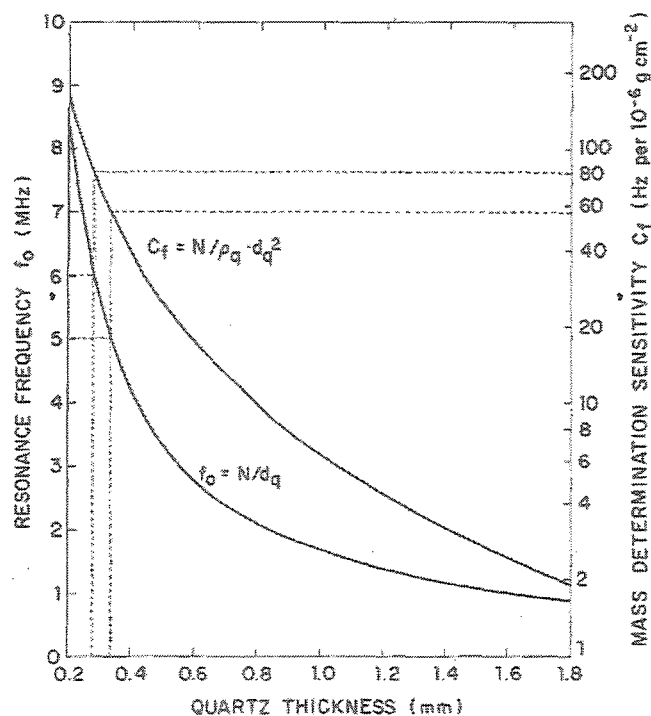


Fig. 52 Resonance frequency and mass-determination sensitivity of AT crystals as functions of wafer thickness.

Estimativas de como podemos assumir linearidade sem erros significativos variam entre 0,5 e 5% da frequência inicial  $f_0$ .

## DETERMINAÇÕES DE ESPESSURA E MASSA DEPOSITADA BALANÇA DE CRISTAL DE QUARTZO

Os gráficos da Fig. 53 se referem à determinação dos desvios máximos da frequência e do valor máximo da massa depositada no cristal com uma tolerância de 5%.

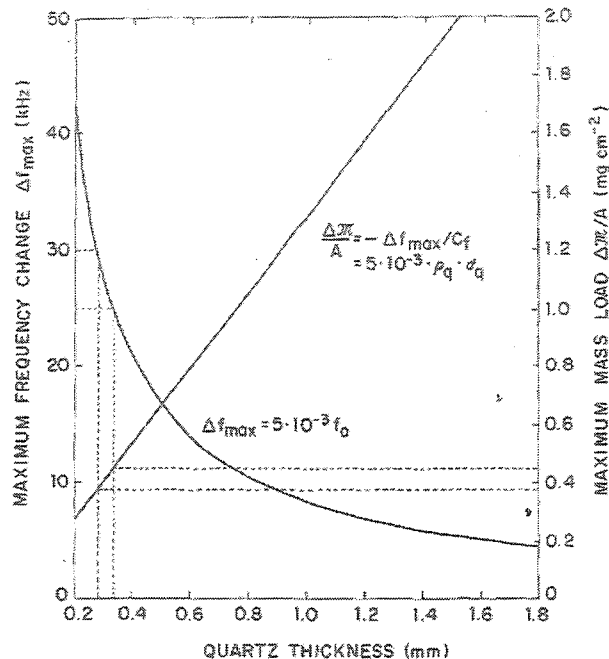


Fig. 53 Maximum frequency change and mass loading for AT crystals as functions of wafer thickness.

### Aplicação

Para uma pastilha de quartzo de 0,5 mm em que um filme de Al é depositado, determine com uma tolerância de 3%:

- O máximo desvio de frequência.
- A máxima massa de Al ( $\text{g cm}^2$ ).
- A máxima espessura do filme.

Densidade do Al =  $2,7 \text{ g cm}^3$