

CIRCUITO COM CRISTAL PIEZO-ELÉTRICO DE QUARTZO PARA A MEDIÇÃO DA TAXA DE CRESCIMENTO DE FILMES FINOS.

Douglas Belli Mariotoni, José Roberto R. Bortoleto, N. C. Cruz, E. C. Rangel, R. P. Mota. – Inter-áreas – Engenharia de Controle e Automação – Campus Experimental de Sorocaba.

Devido a grande demanda por produtos de baixo custo, alta qualidade e durabilidade, o desenvolvimento de novos materiais e novas técnicas de tratamento tem sido fortemente impulsionado. Nesse contexto, a aplicação de plasmas de descargas elétricas tem se destacado por apresentar uma série de características peculiares: simplicidade, rapidez, baixo custo e ausência de produção de resíduos nocivos. Além disso, esta técnica também permite um amplo controle das modificações induzidas, flexibilizando o ajuste de propriedades que se deseja obter.

Quando plasmas de vapores orgânicos ou organometálicos, e de suas misturas com gases reativos e/ou nobres são empregados, geralmente ocorre a formação de um filme fino com características bem definidas sobre a superfície de um sólido em contato, por exemplo, o substrato. Estes filmes finos podem ser tanto orgânicos como inorgânicos, dependendo da composição química do plasma. No entanto, mesmo partindo-se de uma mesma mistura, podem-se obter filmes com características distintas; por exemplo, a partir de hidrocarbonetos pode se obter filmes poliméricos (amorfo de baixa densidade e moles), carbonos-amorfos hidrogenados (moderadamente densos e tão duros quanto 40 GPa) ou mesmo carbono grafítico (com estrutura altamente ordenada, elevada proporção de estados sp^2 e baixas durezas). Tais características específicas são causadas pelo diferente grau de interação entre o plasma e a superfície, e podem ser controlados pelos parâmetros da descarga elétrica e pela temperatura do substrato durante a formação do filme fino.

Por outro lado, a espessura do filme pode modificar o ambiente local no qual o filme está evoluindo durante o processo de deposição. Deste modo, a caracterização da taxa de crescimento *in situ* é um fator importante para se entender o processo de deposição a plasma. Uma forma de se monitorar a taxa de deposição instantânea do filme e, conseqüentemente, a sua espessura durante a deposição é através de uma microbalança de quartzo. A deposição de filme sobre a superfície do cristal modifica a frequência natural de oscilação, donde pode ser derivada a quantidade de material depositado.

A aplicação de um campo elétrico alternado ao cristal provoca uma oscilação no centro do cristal piezoelétrico. À medida que o potencial elétrico alternado é aplicado, promovendo um movimento vibracional no cristal, estabelece-se uma onda acústica transversa que se propaga através do cristal. Como resultado ocorre um deslocamento dos átomos do cristal paralelo à superfície, como esquematizado na Fig. 1. Desta forma, se um material é depositado sobre a superfície do cristal ocorre uma redução no movimento de oscilação, resultando em diminuição da frequência de ressonância do mesmo.

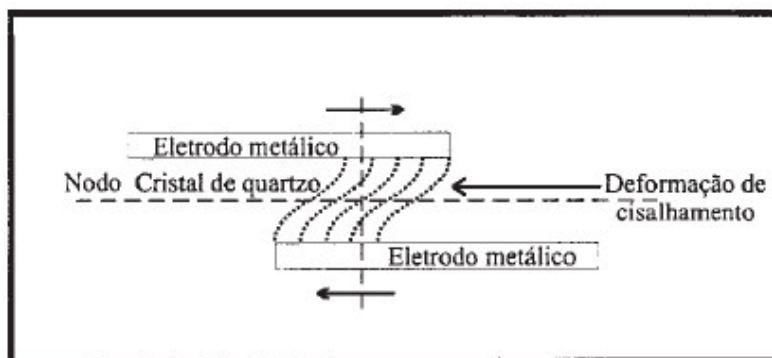


Figura 1 - Desenho esquemático de um cristal, mostrando o nodo da onda acústica passando pelo centro do disco e a deformação causada pelo cisalhamento.

Em termos elétricos, as propriedades mecânicas de um cristal de quartzo próximo da frequência de ressonância podem ser expressas por meio de um circuito equivalente conforme

ilustrado na Fig. 2, sendo L – indutância dinâmica (massa oscilatória do quartzo), C_s – capacitância dinâmica (elasticidade de um corpo oscilatório), R_s – resistência dinâmica, C_p – capacitância paralela estática (capacitância entre os eletrodos do quartzo).

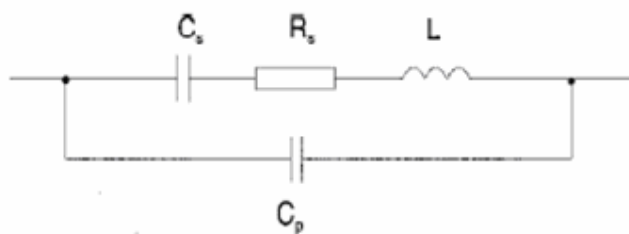


Figura 2 - Circuito elétrico equivalente de um cristal de quartzo no vácuo.

Portanto, mediante o monitoramento contínuo da frequência do cristal é possível se investigar os fenômenos interfaciais e superficiais. A frequência da oscilação ressonante é função da massa do cristal, de forma que a espessura do filme fino, devido à deposição de espécies sobre a superfície do cristal, pode ser monitorada por meio de um freqüencímetro.

Neste trabalho, foi projetado e caracterizado um circuito elétrico oscilador utilizando um cristal piezo-elétrico de quartzo, esquematizado na Fig. 3. Basicamente, o circuito funciona como um circuito tanque ressonante. E uma vez que o cristal de quartzo apresenta alta estabilidade, a frequência do circuito é bem determinada e fixa. Osciladores deste tipo podem ter um sinal com uma precisão tal que a frequência não varia mais do que algumas partes por milhão (ppm) mesmo que ocorram alterações na tensão de alimentação. Para maior precisão ainda, cristais são montados em câmaras térmicas e mantidos em temperatura constante para que variações desta grandeza não afetem a frequência gerada.

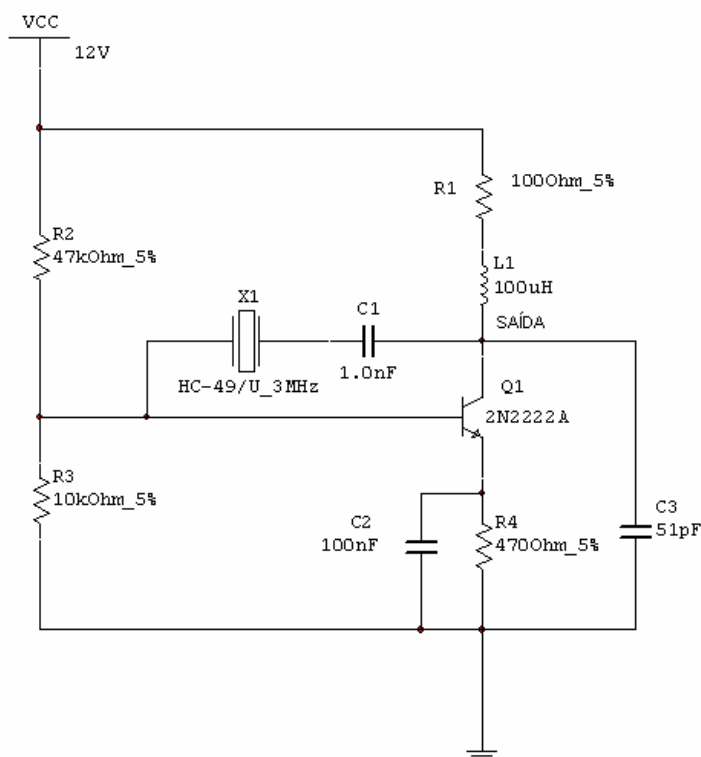


Figura 3 - Circuito oscilador controlado a cristal utilizando um transistor bipolar de junção (TBJ).

Para se avaliar o circuito oscilador, foi montado um freqüencímetro digital utilizando o microcontrolador 8051 da Atmel (AT89S52). Resumidamente este freqüencímetro funciona da

seguinte forma: quando um sinal de nível lógico alto está na saída é acionada uma interrupção do microcontrolador que dispara um “timer”, quando é chegado outro sinal de nível lógico alto, aciona novamente uma interrupção que vai parar a contagem de tempo. Através do período, calcula-se a frequência de oscilação que é mostrada em um LCD (Liquid Crystal Display).

A análise do sinal de saída mostrou que após a alimentação do circuito, sua saída apresentava os valores mostrados na Tabela 1. Nota-se que a frequência gerada é bem próxima à frequência de ressonância do cristal de quartzo e apresentava alta estabilidade. Além disso, com o passar do tempo, a tensão pico-a-pico aumenta até saturar. Isso é devido à realimentação causada pelo cristal e este sinal ser amplificado pelo transistor. A tensão de saída, tensão RMS e o nível de tensão contínua permanecem constantes durante o tempo que o circuito permaneceu ligado.

Tabela 1 - Valores apresentados na saída do circuito oscilador instantes após alimentá-lo.

Tensão de saída (V)	11,714
Tensão pico-a-pico (nV)	340,211
Tensão RMS (V)	11,714
Nível de tensão contínua (V)	11,714
Frequência (MHz)	2,833

Desse modo, pode-se concluir que o circuito com retro-alimentação, empregando um transistor bipolar de junção, permite a geração de uma frequência estável o suficiente para que o cristal piezo-elétrico possa ser utilizado para monitorar a taxa de deposição de filmes finos.