

6 Conclusão

Neste trabalho, foram estudados em primeiro lugar algumas condições de deposição de filmes de $a-C:H$ e de $a-C:H(N)$ utilizando a técnica PECVD a partir de atmosferas de metano puro e misturas de metano e nitrogênio. Os principais parâmetros considerados para o crescimento dos filmes foram a pressão total e a tensão de auto-polarização e, no caso de filmes de $a-C:H(N)$, também a composição da atmosfera precursora.

Os resultados obtidos para a taxa de deposição mostram que o aumento, tanto da pressão quanto da tensão de auto-polarização, correspondem a um aumento na taxa de deposição. Nos dois casos este resultado pode ser explicado por um possível aumento na densidade de radicais neutros responsáveis pela formação do filme. No primeiro caso pelo aumento da pressão do gás, no segundo pelo aumento da potência fornecida o que produz um aumento no grau de dissociação na atmosfera precursora. No caso do aumento da pressão parcial de nitrogênio, uma redução na taxa de deposição foi verificada. Este resultado é explicado pelo aumento da probabilidade de formação radicais voláteis na superfície do filme em crescimento como, CN e N_2 . Verificando-se também que a maior tensão interna ocorria para $V_b = -350$ V. Como é sabido a tensão a tensão interna, acompanha os valores de dureza e também a fração sp^3 . Assim, a condição de máximo de tensão corresponde ao máximo de carácter de diamante do filme.

A maior parte deste trabalho, entretanto, foi voltada para o estudo dos efeitos do tratamento por plasma de nitrogênio nas propriedades superficiais dos filmes de $a-C:H$. Medidas em filmes de $a-C:H(N)$, essencialmente taxa de erosão, também foram realizadas. Além do tempo de tratamento, diferentes parâmetros do plasma foram variados como a pressão na câmara e a tensão de auto-polarização. Os resultados em função do tempo indicam claramente que um regime estacionário é rapidamente atingido após alguns segundos de tratamento.

De fato, a quantidade de nitrogênio incorporado à superfície e a taxa de deposição, após alguns poucos minutos de tratamento são constantes. Os resultados obtidos para a taxa de erosão em função da tensão de auto-polarização, indicam um forte aumento, que pode ser explicado pelo fato de que para conseguir maiores tensões é necessário aumentar a potência fornecida ao plasma. Este fato certamente causa um aumento do grau de dissociação das espécies na atmosfera e também um conseqüente aumento da corrente de íons, responsáveis diretos pela erosão tanto física quanto química. Um aumento dos coeficientes de erosão também é esperado com um aumento da energia dos íons atingindo a superfície do filme [1]. O resultado da concentração de nitrogênio na superfície tratada, entretanto, não pode ser associado a este aumento da corrente de íons. A incorporação de nitrogênio é resultado da competição entre dois processos a incorporação (adsorção ou implantação de espécies contendo nitrogênio) e a erosão de nitrogênio. Os dois são diretamente proporcionais à corrente de íons. Portanto, caso as probabilidades de incorporação e erosão fossem independentes da energia dos íons, a concentração de nitrogênio deveria aumentar com o aumento da corrente. Entretanto o comportamento oposto é observado. Isso só pode ser explicado por um aumento da importância do processo de erosão relativamente ao processo de incorporação. Nesta faixa de energia foi verificado um aumento da seção de choque de “*sputtering*”, tanto físico como químico [1], o que parece confirmar esta interpretação. O aumento da taxa de erosão verificado para filmes de $a-C:H(N)$, quando comparado com o de filmes de $a-C:H$ tratados na mesma condição, indica a importância de processos químicos na definição da taxa de erosão já que a maior taxa de erosão só pode ser explicado pela presença de nitrogênio no filme verificado para filmes $a-C:H(N)$.

Já os resultados em função da pressão não apresentam um quadro assim tão claro. A quantidade de nitrogênio incorporada ao filme é independente da pressão do plasma, mas a taxa de erosão aumenta até apresentar uma saturação para pressões acima de 7 Pa. Neste caso, o fato de estarmos em um regime de pressões em que dificilmente podemos tratar a bainha do plasma como livre de colisões, torna esta discussão mais difícil. De fato, a correlação entre energia e tensão de auto-polarização feita anteriormente aqui talvez não seja mais possível. Como a investigação da dependência com a pressão é feita com a tensão de auto-

polarização mantida constante, no caso de termos sempre o mesmo valor médio para a energia, os processos de erosão e incorporação de nitrogênio permaneceriam inalterados para diferentes pressões, mas a corrente de íons provavelmente aumentaria dado o aumento da potência. Se por um lado este aumento pode explicar o aumento da taxa de erosão, não é compatível com o valor constante para a concentração de nitrogênio.

Para uma análise mais detalhada destes processos é necessário que, em uma próxima experiência, se desenvolva métodos ou técnicas experimentais para a determinação da corrente de íons e de sua energia.

No que diz respeito à caracterização química da superfície observou-se que o ambiente químico do nitrogênio é idêntico ao encontrado em filmes de $a-C:H(N)$ [2], ou seja existem dois tipos de ligações químicas, no primeiro ambiente químico o nitrogênio substitucional em anéis aromáticos de carbono, e no segundo ambiente químico uma ligação tripla entre carbono e nitrogênio ou um átomo de nitrogênio ligado a um anel aromático de carbono [3]. A rugosidade dos filmes tratados não é dependente da tensão de auto-polarização e existe uma pequena diminuição no coeficiente de atrito, medido por microscopia de força lateral. O que parece indicar ser este um bom caminho para a obtenção de camadas finas com baixo atrito e baixa rugosidade.