

5

Conclusões e Perspectivas

O presente trabalho revela que a incorporação de flúor nos filmes de carbono amorfo hidrogenado produz filmes com mudanças nas suas propriedades química, mecânica, estrutural e tribológica. Os filmes foram depositados por PECVD até um limiar de 80% de concentração de CF_4 no gás precursor (mistura com acetileno). Para concentrações maiores que 90% de CF_4 ocorreu a erosão dos substratos. O flúor inicialmente se incorpora em substituição ao hidrogênio, mantendo porém, constante a soma das concentrações de hidrogênio e flúor em cerca de 25 at.%. Para filmes pobres em hidrogênio (concentração de 2 at.%), o flúor passa a ser incorporado no lugar do carbono, formando filmes mais ricos em ligações C-F_2 e C-F_3 , reduzindo a interconectividade das cadeias e formando filmes de características poliméricas.

O aumento da concentração de CF_4 leva a uma redução da eficiência do bombardeio iônico como agente decisivo para a definição das propriedades dos filmes. Esta redução é ocasionada pela distribuição da energia de bombardeio pelos átomos do íon. Como as massas do carbono e do flúor são próximas, a energia cinética é dividida pelo número total de átomos do íon. No caso de íons formados pela molécula de C_2H_2 , as massas atômicas do carbono e do hidrogênio são muito diferentes. Neste caso, a energia do bombardeio se divide essencialmente entre os átomos de carbono do íon. Uma menor energia de bombardeio provoca uma redução de íons sub-implantados, e com isso uma menor quantidade de carbonos com hibridização sp^3 e a filmes mais macios e menos densos. Então, o aumento da concentração de CF_4 na atmosfera precursora leva a formação de filmes menos densos e mais macios.

As mudanças ocorridas com a incorporação de flúor levam à formação de um material que se aproxima do Teflon[®], evidenciado pela formação de ligações C-F_2 , o aumento na hidrofobicidade e a redução no coeficiente de atrito. Porém, ainda mantendo algumas características do carbono amorfo como uma baixa rugosidade e a formação de filmes duros para filmes com uma concentração de flúor de até 22at.%.

Os filmes de carbono amorfo fluorados com 15at.% de flúor e 10at.% de hidrogênio na sua composição química foram escolhidos para o estudo

de estabilidade térmica por terem propriedades intermediárias entre todos os filmes de carbono fluorados investigados nesta tese: apresentam redução no seu coeficiente de atrito, aumento na hidrofobicidade e ainda têm dureza elevada. Estes filmes mostraram-se estáveis até 300°C. A partir desta temperatura os filmes começam a perder flúor e hidrogênio. Juntamente com essa perda de massa ocorre a redução da densidade atômica nos filmes. A partir de 300°C as suas características estruturais, mecânicas e tribológicas também sofrem modificações. Os resultados mostram que a partir dessa temperatura ocorre a formação de domínios grafíticos em maior número e/ou tamanho. A tensão interna e a dureza dos filmes diminuem.

O tratamento térmico nesses filmes leva a um ligeiro aumento da hidrofobicidade e redução do coeficiente de atrito apesar da diminuição da concentração de flúor. Isso parece ir no sentido contrário ao esperado com a redução do conteúdo de flúor no material. Porém existe um processo competitivo entre a mudança estrutural e a perda de flúor. Os valores tendem aos valores do grafite.

Com todos esses resultados notamos que os filmes de carbono amorfo fluorados tem qualidades muito interessantes no uso como revestimento protetores com baixo coeficiente de atrito, hidrofóbicos, lisos e duros em dispositivos cuja temperatura de operação não ultrapasse os 300°C, . Podemos imaginar o uso em engrenagens de máquinas de pequena dimensão sem lubrificantes líquidos, numa futura geração de lâminas de barbear, revestimento em borrachas de limpadores de para-brisa de automotores , entre outros.