

Determinação do mecanismo de crescimento e caracterização de filmes dielétricos crescidos sobre SiC

Paula Silveira, Dra. Fernanda Chiarello Stedile

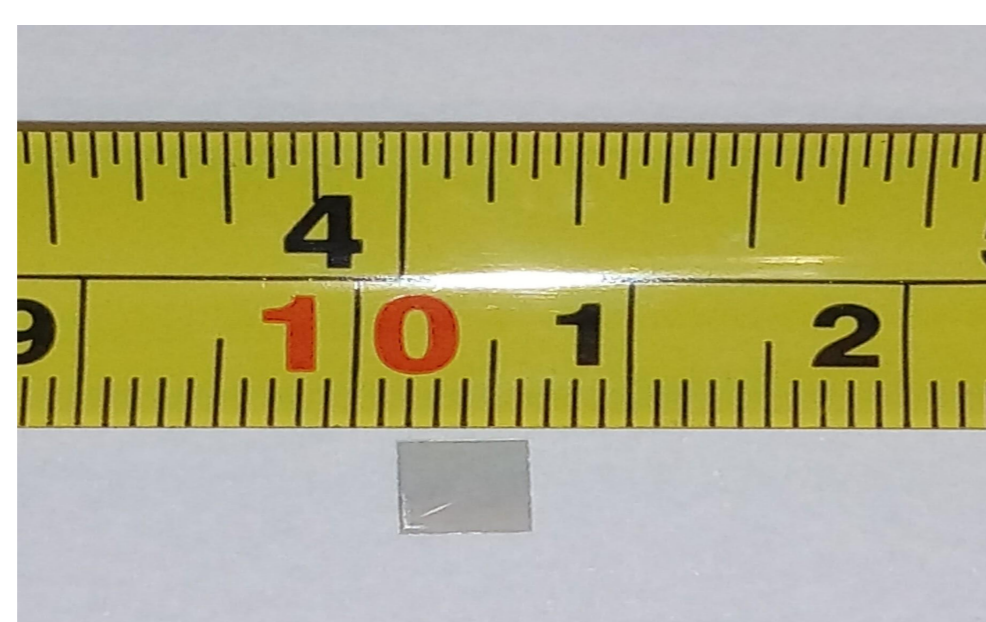
Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Departamento de Físico-Química

Introdução

Os MOSFETs (transistores de efeito de campo metal-óxido-semicondutor) são amplamente utilizados em microeletrônica. O silício já foi muito utilizado como semicondutor em MOSFETs devido a possibilidade de fazer oxidação térmica do Si, crescendo um filme do material dielétrico SiO_2 (dióxido de silício). Porém, esses transistores não funcionam bem sob altas temperaturas pois a concentração de portadores de carga intrínsecos do material aumenta muito em relação aos dopantes. Uma opção para substituir o silício como semicondutor no MOSFET é o carbeto de silício (SiC), cuja principal característica é a formação do filme de SiO_2 através da oxidação térmica. Além disso, outras vantagens do SiC são uma alta banda proibida e maior condutividade térmica. O objetivo deste trabalho foi justamente formar filmes de SiO_2 a partir do carbeto de silício e investigar os resultados através de técnicas de análise RBS, XPS e XRR.

Procedimento Experimental

Foram usados como substratos lâminas de carbeto de silício monocristalino (c-SiC) do polítipo 4H de $5 \times 5 \text{ mm}^2$ polidas tanto na face C quanto na face Si. De modo a poder distinguir as faces C e Si, elas foram marcadas com um "L" no lado inferior esquerdo da face carbono, usando-se uma ponta de diamante, como mostra a figura:

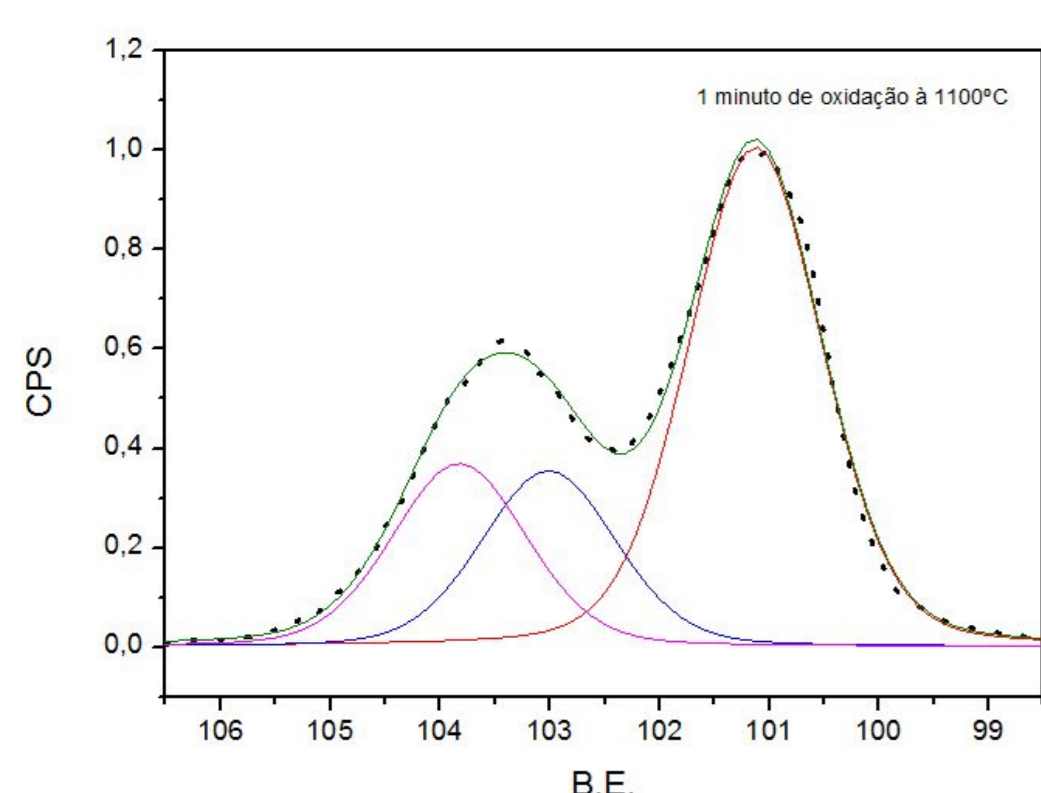


As amostras foram submetidas a um tratamento químico a fim de limpá-las. Foi feita a imersão das amostras nas seguintes soluções por 10 minutos com a chapa de aquecimento a aproximadamente 80°C : H_2SO_4 (95%) + H_2O_2 (30%), conhecida como solução piranha, limpeza RCA: NH_4OH , HCl e limpeza HF, por apenas 1 minuto, seguidos de enxágue em água deionizada.

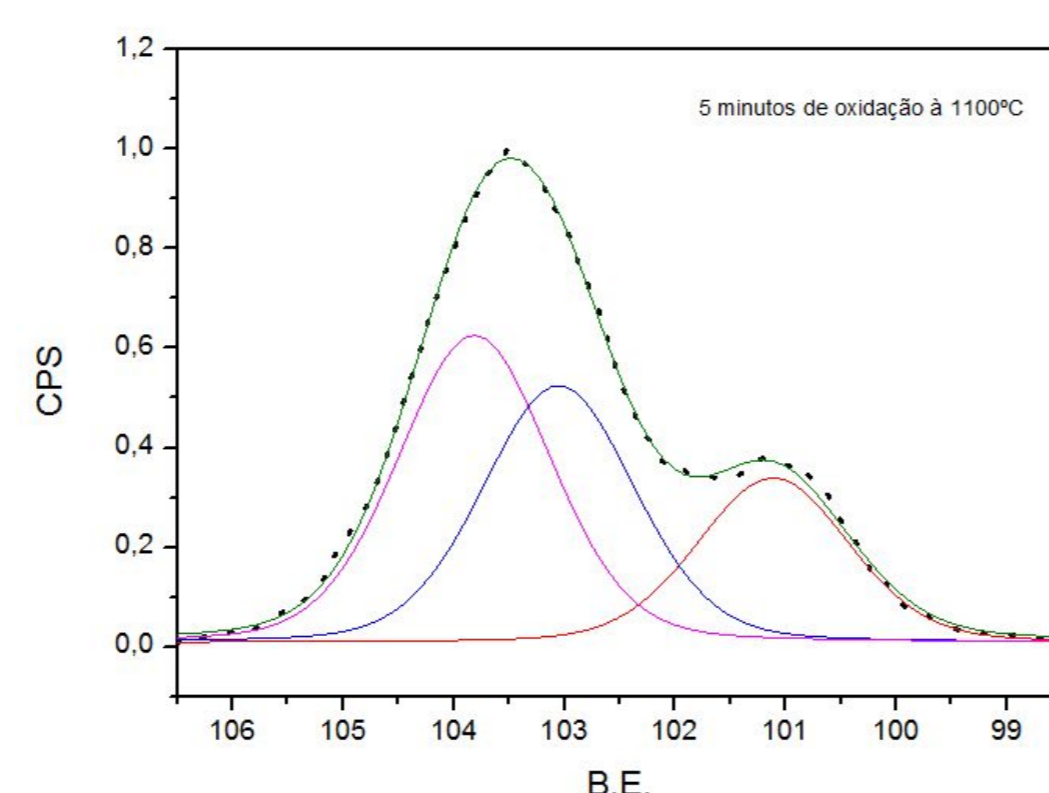
A seguir as amostras foram inseridas em um tubo de quartzo com uma extremidade aberta para a atmosfera e outra que possui um sistema de admissão de gases. Então, foi feita a **oxidação úmida** (vapor d'água obtido borbulhando O_2 em água deionizada a 98°C) das amostras por diferentes intervalos de tempo a temperaturas de 1100°C e 900°C , com a face Si voltada para cima.

Análise por XPS

Espectroscopia de Fotoelétrons induzidos por raios X (XPS) é uma técnica de análise de materiais baseada no efeito fotoelétrico amplamente usada para analisar o ambiente químico dos átomos da amostra. Foi feita a análise das amostras oxidadas a 1100°C por XPS no laboratório de Físico-Química de Superfícies e Interfaces Sólidas (LASIS) da UFRGS. Abaixo está o espectro ilustrando a energia de ligação dos elétrons do orbital 2p do silício para cada amostra de acordo com o tempo de oxidação:



Contagens por segundo em função da Energia de Ligação (BE) dos elétrons do orbital 2p do Silício da amostra oxidada por 1 minuto oxidada à 1100°C .



Contagens por segundo em função da Energia de Ligação (BE) dos elétrons do orbital 2p do Silício da amostra oxidada por 5 minutos oxidada à 1100°C .

Pode-se observar que, conforme o tempo de oxidação aumenta, a componente relativa aos oxicarbeto de silício (em azul) diminui com o tempo, a componente relativa ao carbeto de silício, em vermelho, também diminui devido ao filme formado sobre ele ser cada vez mais espesso. Já a componente relativa ao dióxido de silício, em magenta, aumenta. Ou seja, quanto maior o tempo de oxidação, mais oxigênio é incorporado na amostra, como esperado. A linha verde corresponde à soma das 3 componentes mencionadas acima e os pontos pretos, aos dados experimentais.

Análise por c-RBS

A técnica Espectrometria de Retroespalhamento Rutherford consiste no fenômeno que ocorre quando um feixe de He^+ (com energias na ordem de MeV) é incidido numa amostra. Parte desses íons é retroespalhada elasticamente pelo núcleo dos átomos que compõem o material da amostra em diferentes ângulos. Na colisão, energia é transferida da partícula incidente para o átomo da amostra. Ela, então, é detectada a 170° em relação ao feixe incidente, que emite um sinal elétrico proporcional à energia do íon e permite gerar um espectro.

Na canalização, a direção de incidência do feixe de íons é alinhada com um certo eixo da estrutura monocristalina da amostra. Dessa forma, o número de partículas retroespalhadas por átomos do substrato monocristalino é menor.

Como o filme de SiO_2 é amorfo, suas contagens não são alteradas pela canalização. Como consequência, a razão sinal/fundo é aumentada, permitindo maior sensibilidade na detecção da quantidade de oxigênio incorporada durante a oxidação térmica.

Foram determinados os valores de área/carga dos padrões de bismuto e dos elementos presentes nas amostras, a seção de choque tanto dos padrões quanto das amostras de SiC e por último, a quantidade relativa de oxigênio presente em cada amostra de acordo com a temperatura e tempo de oxidação com um programa escrito na linguagem python pela aluna. Supondo a densidade do dióxido de silício (SiO_2) como $2,2 \text{ g/cm}^3$, pudemos calcular a espessura dos filmes de SiO_2 para estas amostras. Os resultados estão ilustrados nos gráficos abaixo, de acordo com o tempo de oxidação para as temperaturas de 1100°C e 900°C respectivamente.

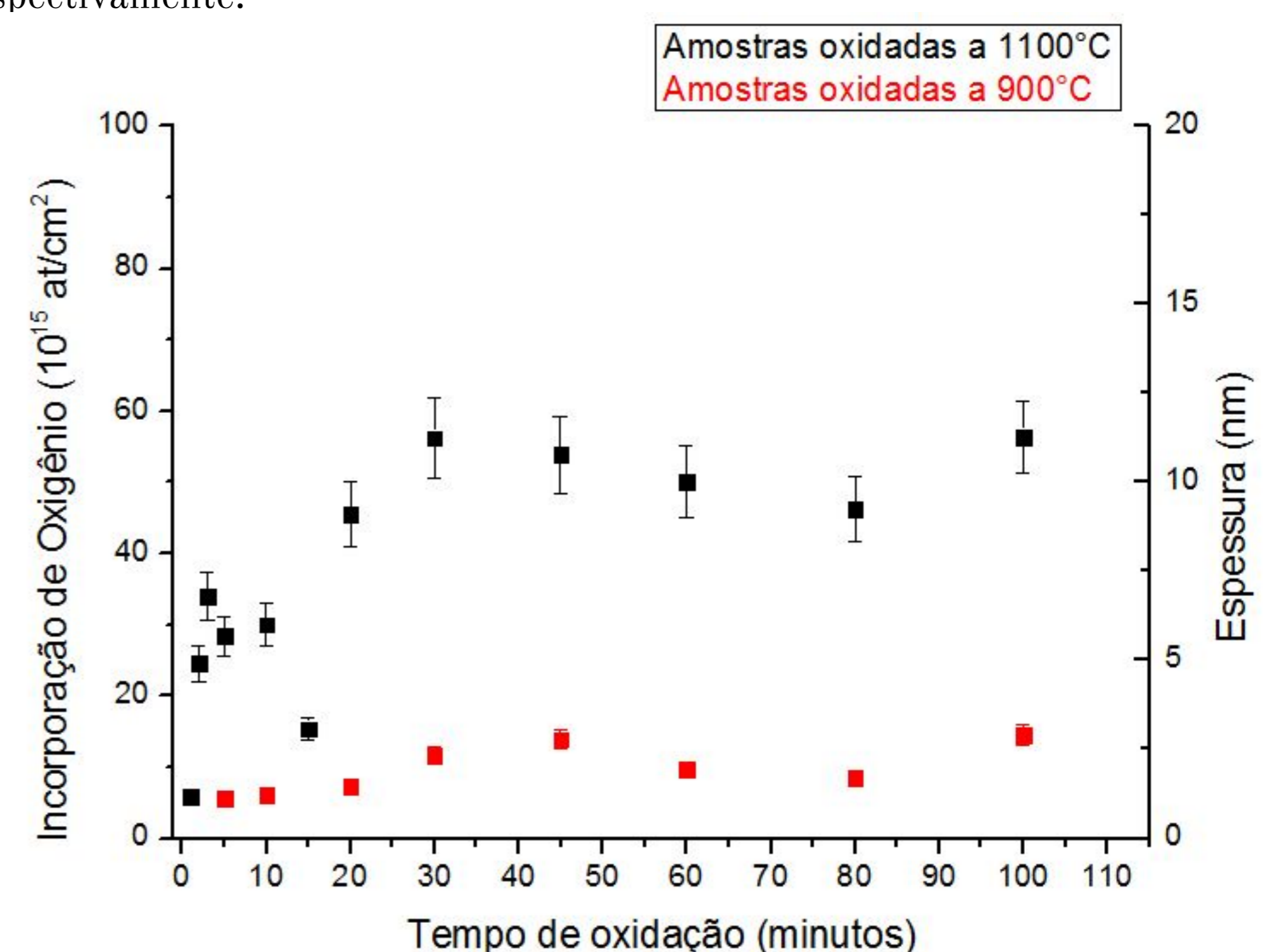


Gráfico das espessuras do filme de SiO_2 em função do tempo de oxidação das amostras. Os pontos em preto representam o conjunto de amostras oxidadas a 1100°C enquanto os em vermelho representam aquelas oxidadas a 900°C .

Pode-se observar que as amostras oxidadas por 30 e 60 minutos apresentam quantidades muito próximas de oxigênio incorporado na face Si para determinada temperatura. Nota-se também uma alta taxa de incorporação de O_2 nas etapas iniciais para a temperatura de 1100°C , seguido então por uma incorporação linear, aparente saturação e então, aumento na incorporação novamente. Às três últimas etapas também são observadas para a temperatura de 900°C . A causa desta saturação ainda está sendo investigada.

Análise por XRR

Reflectometria de Raios X é uma técnica de análise não destrutiva que tem como objetivo fornecer informação sobre a espessura, densidade e rugosidade de cada subcamada da amostra. O princípio consiste em irradiar a amostra na faixa de raios X em ângulos rasantes e medir a intensidade da radiação refletida elasticamente na direção especular (ângulo refletido igual ao ângulo de incidência).

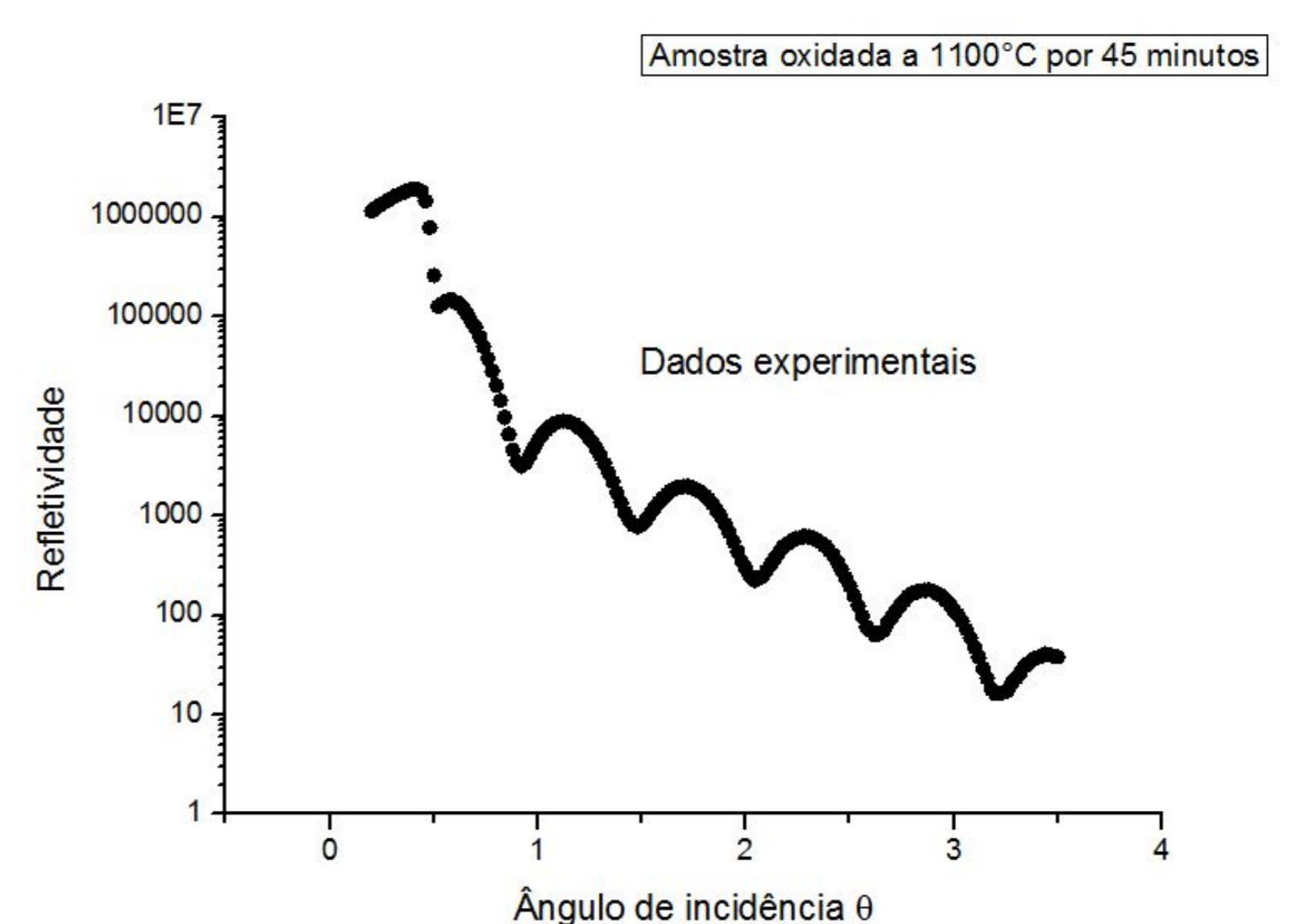


Gráfico da refletividade (eixo vertical) em função do ângulo de incidência (eixo horizontal) ilustrando o resultado da medida da amostra oxidada por 45 minutos a 1100°C , em preto e os dados da simulação, em azul.

A simulação para a camada de dióxido de silício será feita com o software X Pert Reflectivity e fornecerá resultados como densidade, espessura e rugosidade a partir do ajuste dos dados simulados com os dados experimentais.

Os próximos passos consistem em fazer uma simulação da incorporação de oxigênio e crescimento do filme dielétrico sobre o substrato de SiC na linguagem C++, reoxidar as amostras com CO_2 e testar as características elétricas, como resistividade, por exemplo, das mesmas.

Agradecimentos ao CNPq, a Dra Fernanda e ao colaborador Gustavo Dartora.