

# Investigação dos Mecanismos Envolvidos na Oxidação Térmica do Germânio

Samoel Renan Mello da Silva\*, Nicolau Molina Bom, Claudio Radtke

\*samoelrms@gmail.com

## Introdução

Na fabricação de transistores metal-óxido-semicondutor (MOSFET) de alto desempenho, silício (Si) é tradicionalmente usado como substrato semicondutor. Tais dispositivos vem sendo progressivamente miniaturizados visando ao aumento de desempenho. Com a diminuição do transistor para cerca de dezenas de nanômetros, subsequentes miniaturizações em transistores de Si não mais correspondem a ganhos de desempenho. De modo a dar continuidade ao progresso tecnológico, novas materias com características intrínsecas melhores que as do Si estão sendo investigadas. O germânio (Ge) é um possível candidato a substituto do Si devido à sua maior mobilidade de portadores.

A formação de camadas dielétricas por oxidação térmica do germânio é uma importante etapa na fabricação de MOSFETs, a qual ainda não se encontra bem desenvolvida. Neste trabalho, investigaram-se os mecanismos envolvidos em tal processo, mais precisamente, no crescimento de filmes de óxido de germânio sobre germânio. Tal conhecimento é importante para o controle e modificação das propriedades do filme dielétrico formado.

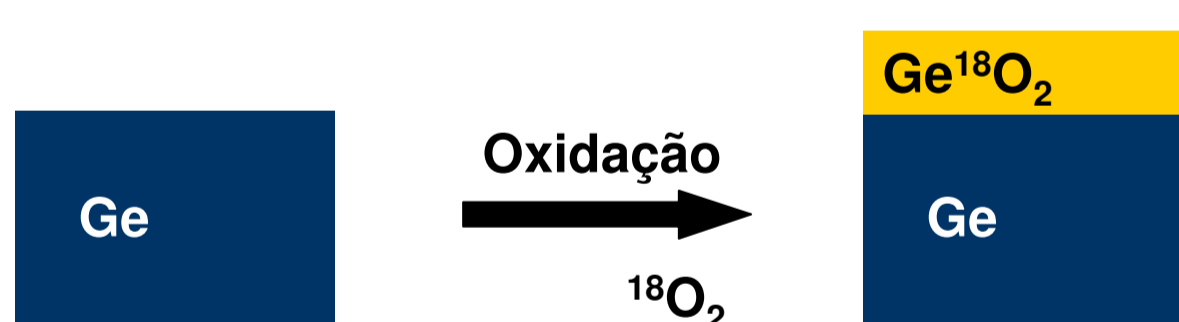
## Procedimento Experimental

No presente trabalho, amostras de Ge foram oxidadas termicamente em atmosfera estática de oxigênio natural, rico no isótopo  $^{16}\text{O}$  ( $^{16}\text{O}_2$ ), ou isotopicamente enriquecida no isótopo  $^{18}\text{O}$  ( $^{18}\text{O}_2$ ). O principal objetivo é investigar o transporte atômico desse elemento.

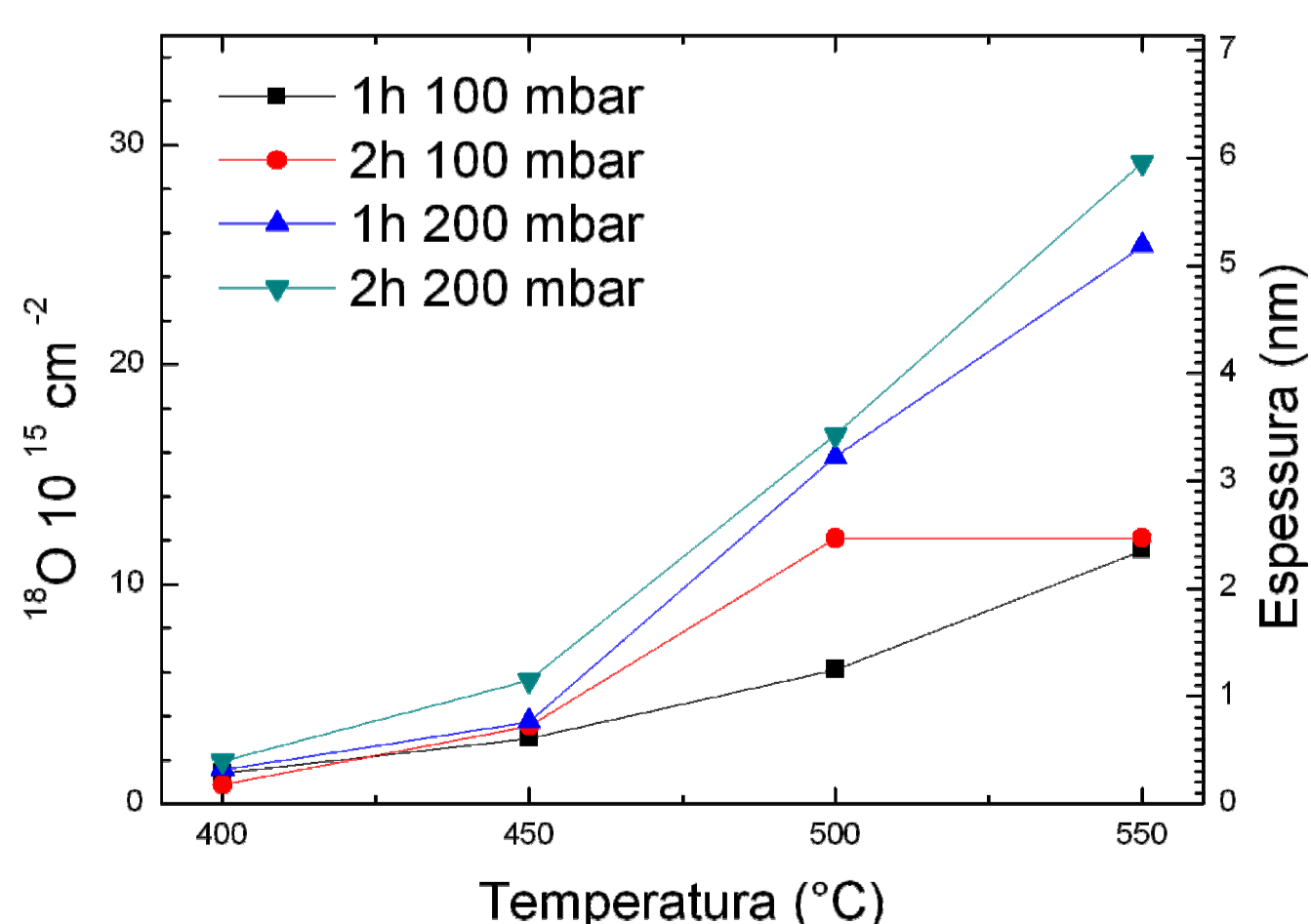
As amostras foram analisadas pelas técnicas de reação nuclear induzida por feixes de íons nos modos ressonante (NRP) e não ressonante (NRA). Na primeira, obtém-se o perfil de concentração de  $^{18}\text{O}$  na amostra, enquanto que a segunda fornece a concentração total de  $^{18}\text{O}$  na mesma.

## Resultados

**1ª ETAPA:** Inicialmente, foi estudado e quantidade de oxigênio incorporada a diferentes pressões, temperaturas e tempo de tratamento, segundo o esquema da figura 1. Os resultados da quantidade de oxigênio incorporada nas amostras estão mostrados na figura 2.



**Fig 1.** Amostra é oxidada em atmosfera de  $^{18}\text{O}_2$ . Análise por NRA fornece quantidade total de  $^{18}\text{O}$  incorporada pela amostra.



**FIG 2.** Quantidade de  $^{18}\text{O}$  incorporada por tratamentos a diferentes pressões, tempos e temperaturas, conforme obtido por NRA. Espessura calculada considerando densidade de  $4,25 \text{ g/cm}^2$ .

→ Conforme esperado, maiores tempo, pressão e temperatura representam maior quantidade de oxigênio incorporada pelo tratamento;

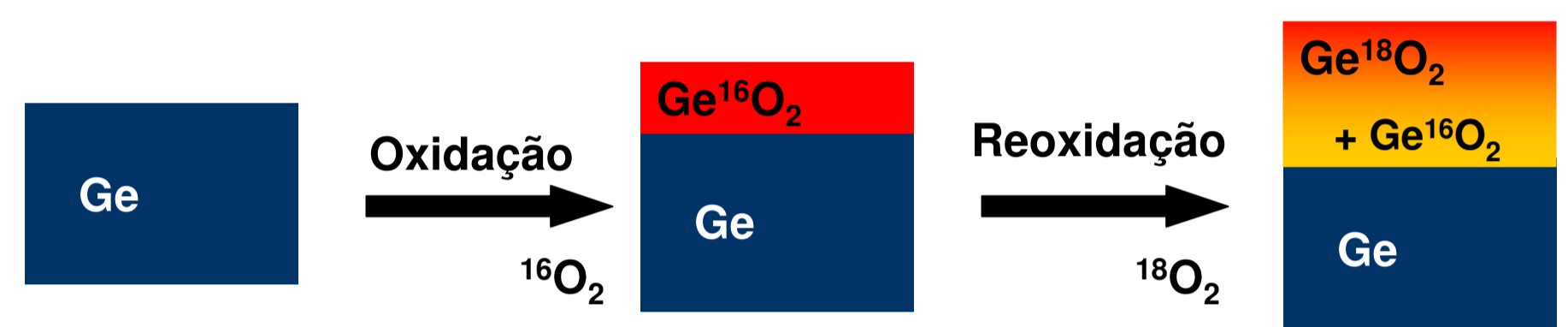
→ A 2h e 100 mbar, observa-se saturação com aumento da temperatura de 500 para  $550^\circ\text{C}$ ;

→ Dois possíveis mecanismos influenciam no crescimento do óxido: (a) reação de  $\text{O}_2$  com o substrato de Ge, formando  $\text{GeO}_2$ ; e (b) decomposição de  $\text{GeO}_2$  quanto este interage com o substrato de Ge formando a espécie volátil  $\text{GeO}$ , através da reação:

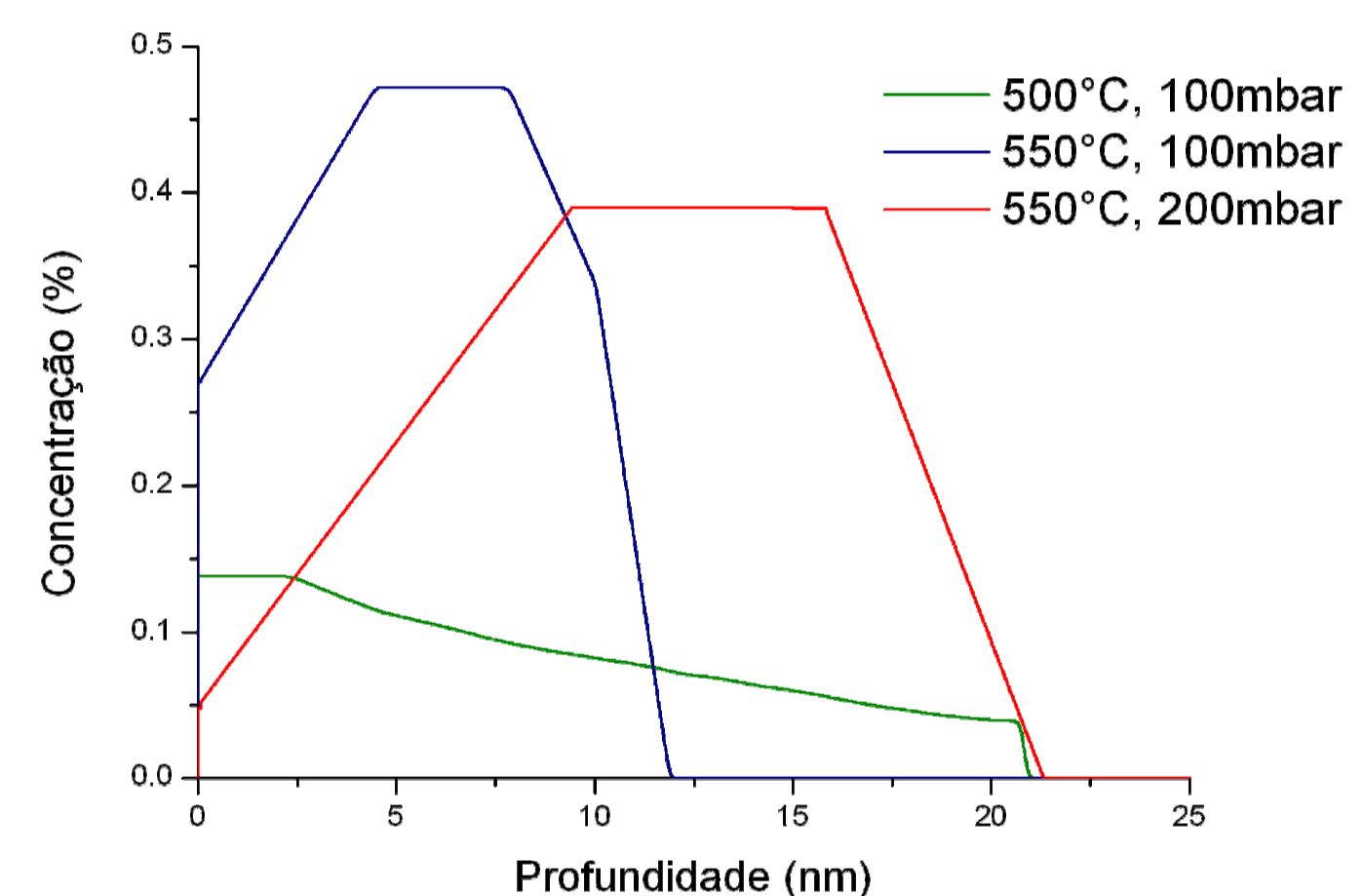


Tal mecanismo explicaria a saturação das curvas da figura 2.

**2ª ETAPA:** Em seguida, de modo a melhor estudar os mecanismos envolvidos durante a oxidação, foi realizado o seguinte experimento: a amostra é oxidada em atmosfera de  $^{16}\text{O}_2$ , em pressão atmosférica a  $550^\circ\text{C}$  por 2 horas. A amostra é reoxidada em atmosfera de  $^{18}\text{O}_2$ , a diferentes pressões e temperatura, para posterior análise por NRP, de modo a analisar o perfil de  $^{18}\text{O}$  incorporado durante esta segunda oxidação investigando onde este segundo isótopo é incorporado. Os resultados estão indicados na figura 4.



**FIG 3.** Amostra é oxidada em atmosfera de oxigênio  $^{16}\text{O}_2$  e reoxidada em  $^{18}\text{O}_2$ . Análise em NRP fornece o perfil de concentração de  $^{18}\text{O}$ .



**FIG 4.** Perfis de concentração de  $^{18}\text{O}$ , relativo ao total de oxigênio presente no  $\text{GeO}_2$  estequiométrico.

→ A  $550^\circ\text{C}$  com pressão de 200 mbar, observa-se que a formação de óxido na interface óxido-substrato é fator predominante;

→ A  $550^\circ\text{C}$  e pressão de 100 mbar, diminuição da espessura do filme indica intensa formação da espécie volátil  $\text{GeO}$ . Ainda, aumento da concentração de  $^{18}\text{O}$  frente à amostra anterior indica maior interação do oxigênio oriundo da fase gasosa com o filme já formado.

→ Com a diminuição da temperatura para  $500^\circ\text{C}$ , ainda a 100 mbar, quantidade de oxigênio incorporada é significativamente reduzida. A interação do oxigênio com o filme já formado é significativa, e formação de  $\text{GeO}_2$  na interface com o substrato torna-se reduzido.

## Conclusões e perspectivas

O entendimento dos mecanismos envolvidos na oxidação térmica do germânio é essencial para conhecimento e controle das propriedades do filme de óxido crescido. Os resultados aqui apresentados indicam que a interação de  $\text{O}_2$  com o filme existente e a dessorção de  $\text{GeO}$  são fatores importantes. Tais mecanismos são fortemente influenciados pela temperatura e pressão da oxidação. Na sequência, quantificaremos a quantidade de  $\text{GeO}$  dessorvida em cada caso.

## Referências

- [1] CARVALHO JÚNIOR, J.V., Dissertação de Mestrado. Instituto de Física, UFRGS, Porto Alegre (2009).  
[2] KAMATA, Y., Materials Today 11, 30-38 (2008)