

# CINÉTICA DE EVAPORAÇÃO DO ÓXIDO DE ZINCO

N. Duarte<sup>1</sup>, W.B. Ferraz<sup>2</sup>, A.C.S.Sabioni<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Departamento de Metalurgia / EM / UFOP  
Universidade Federal de Ouro Preto 35400-000 Ouro Preto, Brasil*

<sup>2</sup>*Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear - CDTN/CNEN  
Pampulha, 30161-970 Belo Horizonte, MG., Brasil*

<sup>3</sup>*Laboratório de Difusão em Materiais, Departamento de Física / ICEB  
Universidade Federal de Ouro Preto 35400-000 Ouro Preto, Brasil*

## **Resumo**

*Este trabalho descreve a cinética de evaporação de cerâmica policristalina de ZnO entre 1097 e 1300° C, em atmosferas de oxigênio, ar e nitrogênio. Os resultados obtidos são apresentados na forma de equações de Arrhenius, para as diferentes condições experimentais utilizadas.*

*Palavras-chave: evaporação, ZnO, difusão*

## **Abstract**

*This communication describes the evaporation kinetics of polycrystalline ZnO ceramics between 1097 and 1300° C, in atmospheres of oxygen, air and nitrogen. The results obtained are given through Arrhenius' equations for the different experimental conditions used in the work.*

*Keywords: evaporation, ZnO, diffusion*

## **INTRODUÇÃO**

O óxido de zinco é um material amplamente utilizado na área tecnológica. Na Cerâmica Avançada, por exemplo, o ZnO é utilizado na fabricação de dispositivos eletro-eletrônicos com aplicações como varistores, sensores de gases e outros [1].

O ZnO tem um ponto de fusão elevado, cerca de 1970° C, mas apresenta significativa evaporação acima de 1000° C, o que limita a utilização desse material a altas temperaturas.

Muitas pesquisas básicas têm sido realizadas com o ZnO visando, principalmente, uma melhor compreensão das propriedades desse material quando utilizado como varistor, tais como a característica tensão-corrente não linear e o fenômeno da degradação em serviço. O modelamento dessas propriedades requerem o conhecimento dos defeitos pontuais da estrutura e das difusividades de elementos como o oxigênio e o zinco [2].

Nesse contexto, um amplo projeto [3] vem sendo desenvolvido com o objetivo de medir coeficientes de difusão do zinco e do oxigênio no ZnO, em diferentes condições experimentais. Para subsidiar a interpretação dos perfis de difusão nesses estudos, tornou-se necessária a medida da cinética de evaporação do ZnO. No estudo experimental da difusão, a superfície polida da amostra é um plano de referência para o estabelecimento dos perfis de difusão. Quando há evaporação da amostra, esse plano de referência se desloca. Se esse deslocamento do plano de referência não é considerado, os coeficientes de difusão são obtidos com valores inferiores aos valores corretos.

Neste trabalho, é feita uma estimativa da velocidade de deslocamento da superfície de cerâmicas de ZnO de alta pureza, para diferentes temperaturas e atmosferas.

## PARTE EXPERIMENTAL

As amostras de ZnO utilizadas neste trabalho foram preparadas por sinterização convencional, utilizando-se pó de ZnO de alta pureza (99,999%) fornecido pela Alfa Aesar. A sinterização foi realizada a 1393°C, em oxigênio, durante 2h. As amostras sinterizadas apresentaram densidade superior a 99% da densidade teórica e tamanho de grão de cerca de 16µm [4].

Para os testes de evaporação, foram utilizadas amostras com dimensões de 6mm x 6mm x 0,5mm. As experiências foram realizadas em um forno tubular com resistência de superkanthal, entre 1097° C e 1300° C, em atmosferas de oxigênio, ar e nitrogênio. A temperatura da amostra foi monitorada durante o tratamento térmico com um termopar de platina-platina/ródio (tipo S).

A determinação da variação da massa de cada amostra, em consequência da evaporação, foi determinada através de uma balança Sartorius, com sensibilidade de 0,01mg.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A espessura da camada superficial da amostra, que evapora após o tratamento térmico, foi calculada pela relação:

$$x(\text{cm}) = \frac{\Delta m(\text{g})}{\rho(\text{g}/\text{cm}^3) \cdot S(\text{cm}^2)} \quad (1)$$

A velocidade de deslocamento da superfície da amostra ( $v$ ), devido à evaporação, foi obtida dividindo-se o valor de  $x$  pelo tempo de tratamento térmico.

A Figura 1 mostra, esquematicamente, o deslocamento da superfície da amostra, com a velocidade  $v$ , durante o processo de evaporação. Após um tempo  $t$  de tratamento térmico, a espessura da camada superficial removida é  $vt$ .

A concentração de um determinado elemento medida em um ponto A, no interior do material, está a uma profundidade  $x$  em relação à superfície original e à uma profundidade  $x'$  em relação à superfície móvel. Quando isso acontece, é necessário em estudos de difusão considerar o deslocamento da superfície original, o que requer o conhecimento da velocidade  $v$ . Dependendo do valor de  $v$ , o estudo experimental da difusão torna-se inviável.

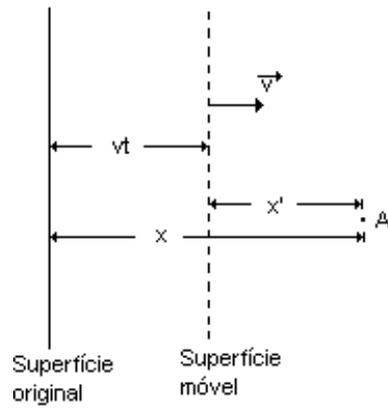
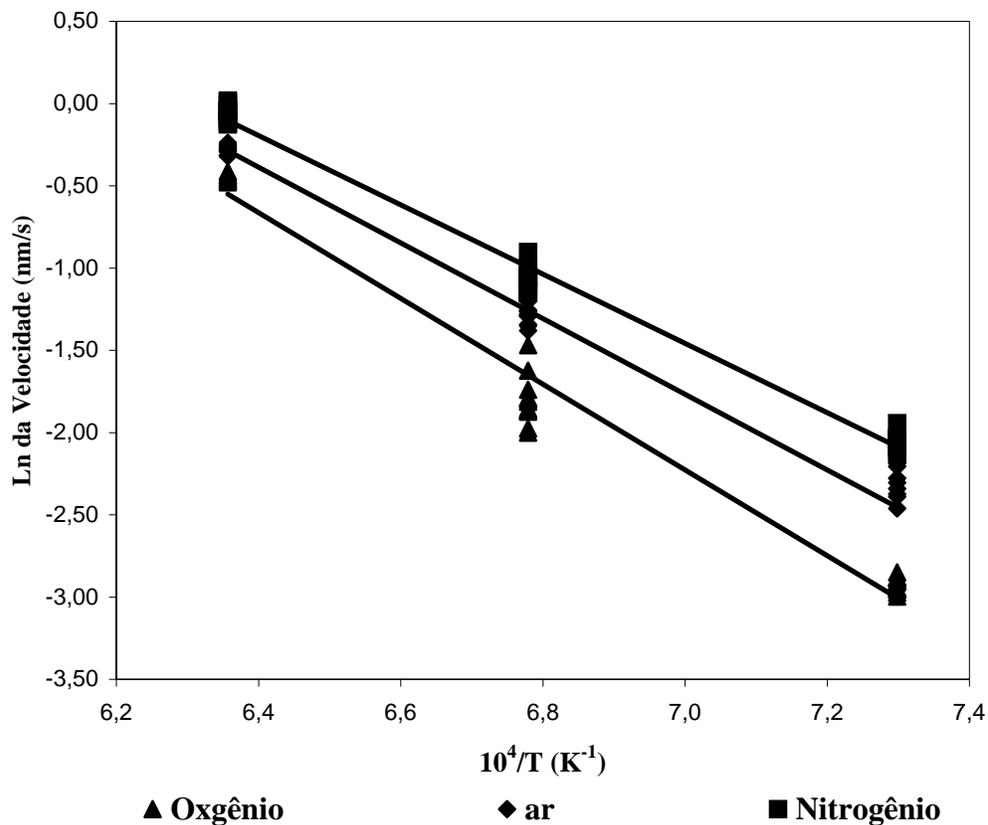


Figura 1 - Esquema do deslocamento de uma superfície por evaporação.

A Figura 2 ilustra os resultados obtidos neste trabalho para a velocidade de deslocamento da superfície de amostras de ZnO, em função da temperatura, para diferentes atmosferas.



*Figura 2 - Variação da velocidade de deslocamento da superfície em função da temperatura, para diferentes atmosferas.*

Conforme pode ser observado na Figura 2, a velocidade de evaporação da superfície da amostra de ZnO varia com a temperatura segundo uma lei de Arrhenius, podendo ser expressa, para cada atmosfera utilizada, pelas seguintes equações:

Em oxigênio:

$$v(\text{nm/s}) = 1,05 \times 10^{16} \exp\left(-\frac{499,06(\text{kJ/mol})}{RT}\right), \quad (2)$$

em ar:

$$v(\text{nm/s}) = 2,18 \times 10^{14} \left(-\frac{440,48(\text{kJ/mol})}{RT}\right), \quad (3)$$

e em nitrogênio:

$$v(\text{nm/s}) = 1,91 \times 10^{13} \exp\left(-\frac{403,11(\text{kJ/mol})}{RT}\right), \quad (4)$$

onde  $v$  é a velocidade de evaporação, em nm/s,  $R$  é constante dos gases e  $T$  é a temperatura absoluta.

Outra informação importante fornecida pela Figura 2 é que a velocidade de evaporação é influenciada pela atmosfera, ou seja, no caso do ZnO, à medida que a pressão parcial de oxigênio é reduzida na atmosfera, maior é a evaporação do material.

De um modo geral, a atmosfera mais favorável para a utilização do ZnO a alta temperatura é a que consiste essencialmente de oxigênio.

## CONCLUSÕES

A cinética de evaporação do óxido de zinco foi determinada, em função da temperatura, em diferentes atmosferas. Nas condições experimentais utilizadas, a velocidade de deslocamento da superfície de um policristal de ZnO, devido à evaporação, varia com a temperatura segundo uma lei de Arrhenius.

Nossos resultados também mostram que a velocidade de evaporação depende da natureza da atmosfera utilizada, sendo que a evaporação aumenta à medida que a pressão parcial de oxigênio é reduzida na atmosfera.

## Agradecimentos

Este trabalho é parte de um projeto financiado pela FAPEMIG. N. Duarte agradece à FAPEMIG pela bolsa BIC.

## REFERÊNCIAS

[1] S. Saito, Fine Ceramics, Elsevier, New York, 1985, 352p.

- [2] Gupta, T. K., Application of Zinc Oxide Varistors, Journal of the American Ceramic Society 73 [7], 1817-1840, 1990.
- [3] Sabioni, A.C.S. – Difusão Iônica e Defeitos Pontuais em Eletrocerâmicas de ZnO. Processo TEC-1254/97. FAPEMIG
- [4] Ferraz, W. B.; Sabioni, A. C. S.; Pedroni, J. D. Elaboração de Cerâmicas Policristalinas de ZnO para Estudos de Difusão. 43<sup>o</sup> Congresso Brasileiro de Cerâmica, 02 a 05 Junho/1999, Florianópolis, SC.