

EFFECTS OF ANODE GEOMETRY IN ATOM TRANSPORT ON MAGNETRON SPUTTERING DEPOSITION SYSTEM

Júlia Karnopp, Julio César Sagás

Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC
Departamento de Física, Campus Universitário – Joinville - SC
julia_karnopp@outlook.com, julio.sagas@udesc.br

Abstract. *In this work, aluminum deposition by magnetron sputtering was simulated using the software SiMTra. Simulations were carried out for different anode geometries. The changes in deposition profile, energy and incidence angle of the atoms arriving at the substrate were analyzed. The reactive deposition of Al₂O₃ was simulated using the RSD2013 software to study the influence of anode in hysteresis. The anode decreases the amount of deposited particles on substrate, interferes in energy and incidence angle and reduces the hysteresis in reactive deposition.*

Palavras-chave: *Filmes, Simulação.*

1. INTRODUÇÃO

Uma das maneiras de se modificar as propriedades superficiais de um material, sejam elétricas, óticas, mecânicas ou magnéticas, é revesti-lo com um filme. Existem vários processos de deposição de filmes, dentre os quais se destaca a deposição por pulverização catódica (*magnetron sputtering*).

Na deposição por *magnetron sputtering*, íons são gerados em um plasma magneticamente confinado em frente ao cátodo (alvo). Estes íons são acelerados e colidem com a superfície, provocando a ejeção de átomos. Este processo é denominado *sputtering*. Os átomos arrancados se depositam nas superfícies internas do reator. Se um gás reativo é inserido durante o processo, ocorre a reação deste com os átomos depositados e com o alvo. A formação de um composto no alvo

causa o "envenenamento", levando à histerese.

Nesse trabalho o processo de deposição é analisado, alterando-se a geometria de um ânodo próximo ao alvo. Para tanto, foi utilizado o programa SiMTra (*Simulation of Metal Transport*) para simular a deposição de alumínio (Al) sem e com o ânodo. O SiMTra [1,2] utiliza o método de Monte Carlo para descrever o transporte dos átomos ejetados durante a fase de vapor. A partir das propriedades iniciais dos átomos arrancados, o programa calcula a energia e o ângulo de incidência com que estes atingem cada superfície, assim como o número de átomos que se depositam. Para simular a deposição reativa de Al₂O₃ foi utilizado o programa RSD2013 (*Reactive Sputtering Deposition*) [3]. Este programa é uma extensão do modelo original de Berg [4] para deposição reativa [5].

2. MÉTODO

Com o programa SiMTra foram realizadas simulações para o alumínio (Al) utilizando um potencial de interação coulombiana blindada pela função de Molière. A câmara contém argônio (Ar) a 0,4 Pa e temperatura de 300 K. As distribuições angular (Fig. 1) e de energia dos átomos arrancados foram calculadas utilizando o programa de simulação de *sputtering* SRIM [6] para íons de Ar com uma energia de 0,47 keV e ângulo de incidência igual a zero. O perfil da zona de erosão (região onde acontece a pulverização do alvo) foi obtido de um alvo utilizado em

laboratório pela técnica de microscopia confocal.

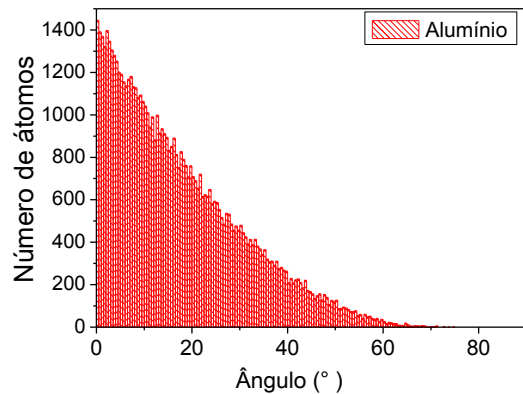


Figura 1: Distribuição angular para átomos de Al (ângulo medido em relação a normal a superfície do alvo).

A geometria do reator está representada na Fig. 2, no qual o substrato é um disco de 10,0 cm de diâmetro. Próximo ao alvo foi inserido o ânodo, um disco de 11,0 cm de diâmetro com um furo circular no centro cujo diâmetro foi variado nas simulações (20, 40 e 60 mm).

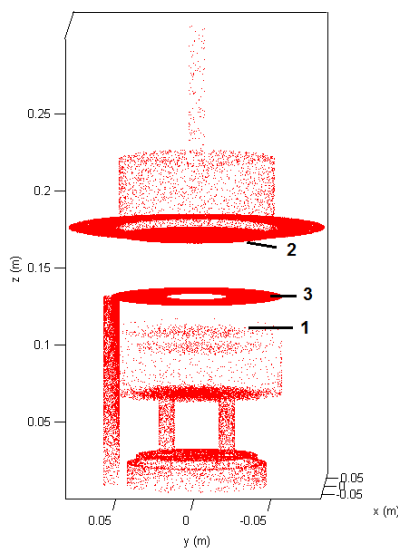


Figura 2: Geometria do reator: alvo (1), porta-amostras (2) e ânodo (3).

As simulações para a deposição reativa de Al_2O_3 através do RSD2013 foram realizadas utilizando o perfil de deposição de Al obtido com o SiMTra. O SRIM foi utilizado para obter a taxa de *knock-on*, para íons de argônio a 0,47 keV colidindo em uma monocamada de oxigênio atômico

sobre o Al e o perfil de implantação para íons de O_2 a 0,235 keV bombardeando o alvo. A deposição reativa foi simulada utilizando Ar a 0,4 Pa e 300 K, velocidade de bombeamento de 25 L/s e corrente de 0,5 A. O rendimento de *sputtering* para o metal é 0,65 e para o composto é 0,052. Para o alvo, o coeficiente de fixação do gás reativo é 0,08 e para o substrato 0,107. A taxa com que os átomos implantados reagem com o metal é $5.10^{-23} \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1} \text{ partículas}^{-1}$ [4].

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A figura 3 traz o perfil de deposição do Al no substrato para as diferentes condições. A deposição diminui com a presença do ânodo e com o decréscimo do diâmetro do furo. Isso acontece pois parte dos átomos passam a se depositar no ânodo e não mais no substrato.

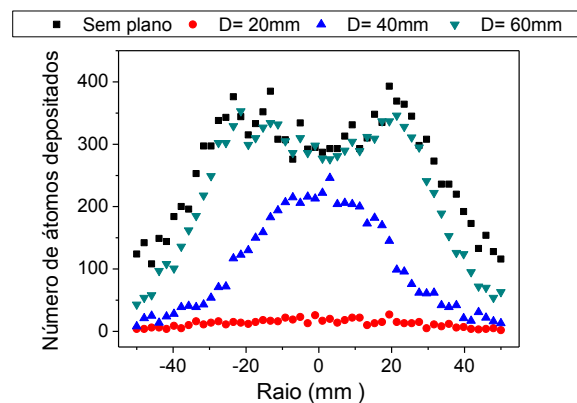


Figura 3: Perfil de deposição no substrato sem e com o ânodo para diferentes diâmetros do furo (D).

O perfil de deposição é alterado com o tamanho do furo. Para o furo de 60 mm de diâmetro a deposição é maior na região a cerca de 20 mm do centro do substrato, assim como para a simulação sem o ânodo. Este perfil está relacionado ao perfil da zona de erosão (Fig. 4). A maioria dos átomos de Al saem do alvo com trajetórias perpendiculares a ele (Fig. 1). Para baixas pressões (como 0,4 Pa) esses átomos sofrem poucas colisões durante o transporte e a deposição é maior nas regiões do substrato

perpendiculares a zona de erosão do alvo, onde a taxa de *sputtering* é maior.

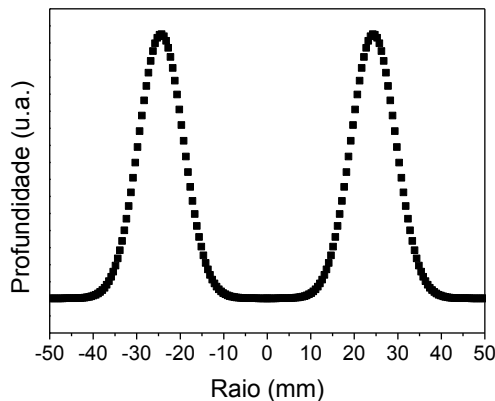


Figura 4: Perfil da zona de erosão do alvo.

Diminuindo o tamanho do furo se diminui a passagem dos átomos ejetados dessa região do alvo e a deposição torna-se maior no centro do substrato, como para o furo de 40 mm de diâmetro.

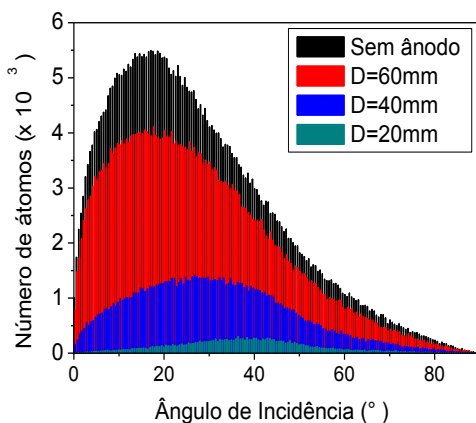


Figura 5: Distribuição angular dos átomos chegando ao substrato. Ângulo em relação à normal.

A presença do ânodo também interfere no ângulo de incidência dos átomos no substrato (Fig. 5). Para o ânodo com o furo de 60 mm a distribuição angular é muito semelhante a sem esse objeto. Para os furos menores, o ângulo mais provável aumenta. A população de átomos ejetados do alvo com pequenos ângulos é maior (Fig. 1), logo, para baixa pressão, é mais provável que átomos com pequenos ângulos de incidência se depositem no ânodo. Assim, para furos

menores, diminui a população de átomos que chegam com baixos ângulos no substrato e, conseqüentemente, aumenta o ângulo mais provável de incidência.

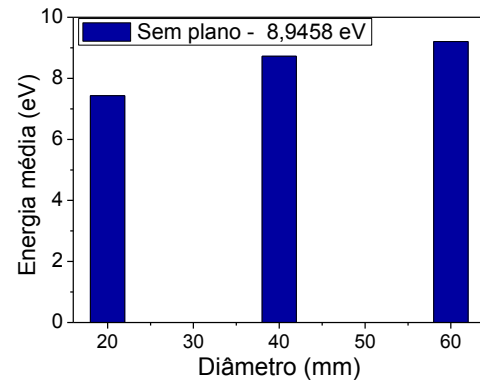


Figura 6: Energia média com que os átomos se depositam no substrato em 0,4 Pa.

Foi possível observar que a presença do ânodo interfere também na energia com que os átomos chegam ao substrato (Fig. 6).

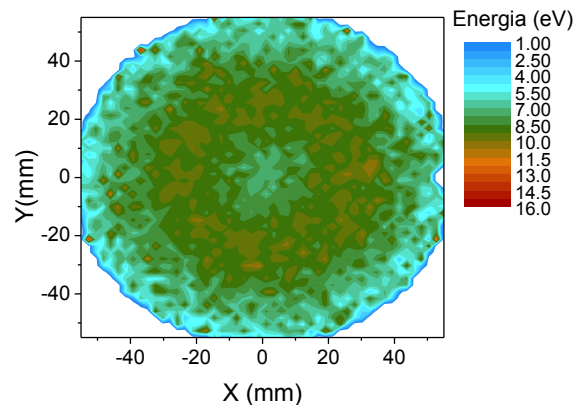


Figura 7: Perfil da energia com que os átomos se depositam em plano colocado no lugar do ânodo.

Analisando a energia com que os átomos se depositam em um plano colocado no lugar do ânodo (Fig. 7) é possível perceber que o diâmetro do furo do ânodo impede que átomos de determinadas energias cheguem ao substrato. Para 20 mm, uma grande população de átomos se deposita no ânodo e apenas átomos com baixas energias continuam sendo transportados até o substrato, fazendo com que a energia média seja menor comparada com o caso sem o ânodo. Aumentando o tamanho do

furo, átomos com energias maiores passam a se depositar no substrato, aumentando a energia média. Sem o ânodo, a energia média é menor do que para o furo de 60 mm, pois sem ele os átomos da borda do plano, com baixas energias, também se depositam no substrato, o que diminui a energia média em relação ao furo de 60 mm.

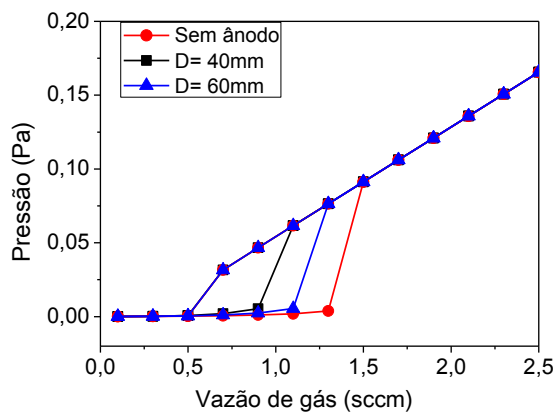


Figura 8: Curva de histerese para a deposição de Al_2O_3 sem e com o ânodo.

Com o programa RSD2013 foi simulada a deposição do Al incluindo o gás O_2 no processo para formar Al_2O_3 , obtendo a curva de histerese (Fig. 8). A presença do ânodo diminui a histerese, pois o primeiro ponto crítico (ponto em que a pressão aumenta abruptamente e indica que o alvo está envenenado) é deslocado para valores menores de vazão de gás e o segundo ponto crítico (quando o alvo é desenvenenado e há uma queda na pressão) permanece fixo. O gás reativo reage com o alvo e com os átomos depositados no substrato. A medida que aumenta a fração de composto no alvo diminui o número de átomos ejetados e, conseqüentemente, diminui a quantidade de átomos de metal para reagir com o gás. Quando o substrato está todo coberto com composto, a pressão aumenta abruptamente e o alvo envenena. Acrescentando o ânodo, a área efetiva de deposição diminui, o substrato satura mais rápido e o envenenamento do alvo ocorre para valores menores de vazão de gás, pois diminui a quantidade de gás necessária para isto. E

quanto menor for o furo do ânodo, menor é a área efetiva de deposição e o primeiro ponto crítico é deslocado para valores menores de vazão de gás.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As simulações permitiram analisar o processo de deposição de filmes por *magnetron sputtering*. Foi observado que acrescentando o ânodo o número de átomos depositados no substrato diminui. Além disso, o tamanho do furo no ânodo modifica o perfil de deposição. O diâmetro do furo também interfere no ângulo e na energia média com que os átomos chegam no substrato. As simulações para a deposição reativa de Al_2O_3 mostraram que a presença do ânodo diminui a histerese (distância entre o primeiro e o segundo ponto crítico).

REFERÊNCIAS

- [1] DEPLA, D.; LEROY, W.P. Magnetron sputter deposition as visualized by Monte Carlo modeling. *Thin Solid Films*, v. 520, ago. 2012, p.6337-6354.
- [2] VAN AEKEN, K; MAHIEU, S; DEPLA, D. The metal flux from a rotating cylindrical magnetron: a Monte Carlo simulation. *Journal Of Physics D: Applied Physics*, v. 41, out. 2008.
- [3] STRIJCKMANS, K; DEPLA, D. A time-dependent model for reactive sputter deposition. *Journal Of Physics D: Applied Physics*, v. 47, n. 23, maio 2014, p.235302-235315.
- [4] BERG, S.; NYBERG, T.. Fundamental understanding and modeling of reactive sputtering processes. *Thin Solid Films*, v. 476, n. 2, abr. 2005, p.215-230.
- [5] STRIJCKMANS, K. et al. Modeling reactive magnetron sputtering: Fixing the parameter set. *Surface And Coatings Technology*, v. 206, n. 17, abr. 2012, p.3666-3675.
- [6] ZIEGLER, James F. SRIM (The Stopping and Range of Ions in Matter). Disponível em: <<http://www.srim.org/>>