

PRODUÇÃO DE SUPERFÍCIES SELETIVAS POR MAGNETRON SPUTTERING PARA APLICAÇÕES FOTOTÉRMICAS

W. Sade^{1*}; D.O. Miranda²; R.J. Santana²; G.R. Guimarães²; J.R.T. Branco²

¹REDEMAT (UFOP, CETEC, UEMG), Praça Tiradentes, 20, 35.4000-000, Ouro Preto, MG

²CETEC, Av. José Cândido da Silveira, 2000, 31.170-000, Belo Horizonte, MG

Recebido: 23 de janeiro, 2008; Revisado: 10 de setembro, 2008

Palavras-chave: superfícies seletivas, vácuo, absorvância solar

RESUMO

Neste presente trabalho foram produzidas superfícies seletivas a base de Ni e NiO em substrato de alumínio em câmara de vácuo com a utilização de deposição catódica ("sputtering"). A pressão da câmara foi ajustada em 2×10^{-2} mbar e a potência a 600W. O tempo para deposição de Ni variou de 10 a 60 minutos e o tempo para deposição de Ni-NiO de 10 a 90 minutos. A mistura gasosa constituiu-se de argônio (gás inerte) e oxigênio (gás ativo). A percentagem em volume de oxigênio variou de 20 a 70%. A identificação e a quantificação das fases foram realizadas por Difração de Raios X (DRX). A microestrutura das amostras foi examinada ao Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV). As modificações de superfícies dos recobrimentos foram investigadas ao Microscópio de Força Atômica (MFA). A absorvância solar foi calculada a partir das medidas de refletância por espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier. Em algumas amostras atingiu-se picos de 99% de absorção térmica. A fim de obter filmes com maior absorção de calor para aplicações em coletores solares, procurou-se relacionar a composição química, e a microestrutura e as propriedades ópticas desses materiais.

ABSTRACT

In this present work, selective surfaces with Ni and NiO had been produced in chamber of vacuum with the use of cathodic deposition ("sputtering"). The pressure of the chamber was adjusted in 2×10^{-2} mbar and the power 600W. The time for deposition of Ni varied of 10 to 60 minutes and the time for deposition of Ni-NiO of 10 to 90 minutes. The mixture of gases was constituted of argon (inert gas) and oxygen (active gas). The percentage in volume of oxygen varied of 20 to 70%. The identification and the quantification of the phases were carried through by X-Ray Diffraction (XRD). The microstructure of the samples was examined to the Scanning Electronic Microscope (SEM). The surface morphology was investigated by Atomic Force Microscope (AFM). The solar absorptance was calculated from the measures of reflectance for Spectroscopy for Fourier Transformed Infrared Ray (FTIR). In some samples peaks

of 99% of thermal absorption had been reached. Films with better absorption of heat for applications in solar collectors, was prepared with the relation of the chemical composition, microstructure and the optic properties of these materials.

1. INTRODUÇÃO

É crescente a pressão para o desenvolvimento de processos de geração de energia a partir de fontes renováveis e eficiência energética. A fabricação e a utilização dos aquecedores solares no Brasil têm crescido sistematicamente a cada ano a taxas muito superiores as do crescimento da indústria nacional. Diante da crescente competitividade no setor, novas tecnologias e novos materiais são desenvolvidos a fim de se tornarem economicamente mais atrativos [1].

Materiais como Ni e NiO depositados em substrato de alumínio por magnetron sputtering fonte DC tem-se destacado em várias aplicações fototérmicas com alta relação custo-benefício. Essa técnica de recobrimento, bastante versátil para deposição de filmes finos, permite depositar diferentes materiais ao mesmo tempo e controlar com precisão parâmetros de processos. Outra vantagem do processo de "sputtering" é a possibilidade de ser usado em larga escala industrial [2,3]. Além disso, este processo é limpo, não prejudicial à saúde e nem ao meio ambiente.

Os mais eficientes coletores solares utilizados para aquecimento de água usam superfícies seletivas espectrais que absorvem e convertem radiação solar em calor. Já existem superfícies seletivas com alto desempenho, porém algumas delas apresentam vários dificultadores, tais como, a durabilidade, a resistência à umidade, adesão, o riscamento e o custo com as técnicas de produção.

O preço dos coletores solares tem sido reduzido a fim de tornarem mais aceitáveis e difundidos no mercado. A componente de maior custo de um coletor solar é a superfície seletiva. Com o menor custo destas superfícies, estes coletores termo-solares passam a ter mais interesse comercial no Brasil, onde a energia solar é tão abundante.

Cabe destacar que no Brasil em algumas cidades já é obrigatória a instalação de coletores termo-solares como já acontece também em alguns países no sul da Europa, como Espanha e Portugal. A despeito da importância do tema,

* wagnersade@hotmail.com

uma avaliação dos anais do 2º Congresso Brasileiro de Energia Solar, II CBENS, 2008, sinaliza claramente a baixa atividade de pesquisa voltada para o desenvolvimento de superfícies seletivas fototérmicas no Brasil.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 PREPARAÇÃO DO SUBSTRATO

Foram utilizadas chapas de alumínio comercial como substrato nas dimensões de 2,5x2,0x0,6cm. Antes de se proceder aos recobrimentos as superfícies foram acabadas com lixas de 100, 180, 400, 600 e 1000mesh, procurando-se assegurar uma melhor planicidade. Posteriormente as amostras foram armazenadas em dissecadores. A análise de fluorescência de raios X foi usada preliminarmente como um método semiquantitativo, para detectar a presença de elementos químicos de massa atômica acima do lítio. Utilizou-se o instrumento EDX-800, marca Shimadzu, modelo Rayny, a vácuo e um colimador de 10mm.

2.2 PREPARAÇÃO DO ALVO DE NÍQUEL

O alvo de níquel, onde se realizou o bombardeio catódico, consistiu de uma chapa fina com dimensões de 25,4x12,7x0,3cm acoplada em suporte de cobre, Figura 1. A seleção desse alvo com espessura de 0,3cm, mais fina que as usuais de 0,5cm, deve-se ao fato de ser o níquel um metal ferromagnético [4]. Essa propriedade magnética do níquel interfere no campo magnético do plasma.



Figura 1 - Alvo de níquel com 0,3cm de espessura acoplado em suporte de cobre.

2.3 RECOBRIMENTOS POR “MAGNETRON SPUTTERING DC”

O processo de deposição catódica “magnetron sputtering” reativo, fonte DC, é o processo no qual se aplica uma corrente contínua para excitação dos átomos do plasma. A taxa de sputtering é determinada principalmente pela densidade de potência na superfície do alvo, o tamanho da área de erosão, à distância alvo-substrato, o material do alvo e a pressão de gás.

Alguns desses fatores, tais como pressão e densidade de potência, são correlacionados. Portanto, as condições ótimas

de operação são obtidas pelo controle de parâmetros que possibilitem alcançar o maior fluxo de potência que pode ser aplicado ao alvo, sem causar comprometimento da qualidade do filme.

Os recobrimentos foram realizados em duas camadas. Uma primeira camada de Ni, a camada base, e uma segunda camada de Ni-NiO, a camada de topo. A Figura 2 mostra esquematicamente os filmes produzidos.



Figura 2 – Representação esquemática dos filmes.

O equipamento utilizado na deposição por “sputtering”, um sistema Balzers BAS 450MS, Figura 3, está instalado no Laboratório de Engenharia e Modificações de Superfícies (LEMS) do CETEC.



Figura 3 – Ilustração do equipamento Balzers BAS 450MS usado na deposição catódica.

Diferentes parâmetros de processos foram utilizados com o propósito de se produzir recobrimentos com alta absorptância solar na região do visível e baixa emitância térmica na região do infravermelho médio. A pressão na câmara de vácuo foi mantida em 2×10^{-2} mbar e a potência a 600W [5,6]. O tempo de deposição por “sputtering”, a percentagem em volume do gás plasma (argônio) e a percentagem do gás reativo (O_2) para oxidação de níquel foram alterados conforme Tabela 1. A temperatura do substrato de alumínio sofreu pequenas variações ao longo do processo de deposição.

2.4 MEDIDAS DAS ESPESSURAS DOS RECOBRIMENTOS

As espessuras dos recobrimentos foram medidas no perfilômetro Taylor-Hobson, modelo Form Talysurf, Série 2,

tomando-se a altura do degrau formado a partir da remoção de nitrato de boro sobre o substrato adicionado antes dos recobrimentos. Foi medida a espessura total dos recobrimentos e a espessura da 1ª camada de Ni. A razão entre espessura dos filmes e o tempo de processo é a taxa de deposição.

Tabela 1 – Parâmetros de deposição por “sputtering”

Amostra	Tempo dep. Ni (min)	Tempo dep. Ni/NiO (min)	% Gás inerte (argônio)	% Gás reativo (O ₂)	Temperatura substrato (°C)
A	40	60	50	50	48
B	10	10	80	20	48
C	60	90	70	30	62
D	10	10	70	30	48
E	10	20	70	30	58

2.5 ESTRUTURA DOS RECOBRIMENTOS

As amostras recobertas foram identificadas e quantificadas por difração de raios-X (DRX) na faixa de 35 a 55°. Para isso empregou-se um difratômetro Shimadzu, a baixo ângulo, XRD-6000 com radiação de Cu, K α = 1,5405Å. Esse ângulo, rasante, de incidência do feixe de raios X com as superfícies das amostras foi de 0,5°. As percentagens em peso (%p) das fases presentes de Ni-NiO da 2ª camada foram calculadas a partir da Equação 1, proposta por Chung [7] substituindo o coeficiente de absorção linear k = 3,81 para o NiO.

$$\frac{I_1}{I_2} = 3,81 \frac{X_1}{X_2} \quad (1)$$

onde, I₁ e I₂ são as intensidades dos picos (cps) determinadas na difração; X₁ e X₂ são as percentagens em peso (%p) dos componentes 1 e 2.

A partir dos difratogramas de raios X foi calculado também o tamanho de grão (d') das fases de Ni e NiO empregando-se a fórmula de Scherrer[8], Equação 2.

$$d' = \frac{0,89\lambda}{\beta \cos \theta} \quad (2)$$

em que:

d' é o tamanho de grão da fase em análise (em nm),

λ é o comprimento de onda da radiação incidente, para o Cu, K α = 0,15405nm,

$\beta^2 = B^2 - b^2$ onde:

B e b são as larguras à meia altura do pico mais intenso do filme e do padrão respectivamente (em radianos),

θ é o ângulo de difração de Bragg.

A fim de se examinar a microestrutura das amostras recobertas empregou-se um microscópio eletrônico de varredura (MEV), marca Jeol, modelo JCXA 733. As amostras foram vistas por cima em aumentos de 1.000 a 2.000X. A morfologia das amostras recobertas foi observada com au-

xílio de um extensor Nanoscope Extender, Modelo EX-1 através da sonda Nanoscope IIIa da Digital Instruments Inc.

2.6 ABSORTÂNCIA E EMITÂNCIA DAS AMOSTRAS

A absorptância (A) das amostras foi calculada a partir das medidas de refletância (R) empregando-se a Equação 3 [9]. Considerando-se a equação de um feixe de luz incidente em uma superfície, A + R + T = 1 e a transmitância, T=0, para materiais opacos; tem-se:

$$A = 1 - R \quad (3)$$

A absorptância média das amostras foi calculada utilizando a Equação 4, a partir dos valores da absorptância A (%) em função do comprimento de onda λ (μ m).

$$\alpha = \frac{a}{b-a} \int_a^b Ad\lambda \quad (4)$$

Empregou-se um espectrofotômetro da Analytik Jena Specord 210 UV-VIS-IR para medidas de refletância especular na região do visível/infravermelho próximo (0,4 a 1,1 μ m) em um ângulo de incidência de 45°. As medidas de refletância no infravermelho distante (1,1 a 25 μ m) foram realizadas em um ângulo de incidência de 75° no espectrofotômetro de infravermelho com transformada de Fourier, FTIR, Bomem, modelo FTLA 2000. A emitância (ϵ) das amostras foi calculada em função das medidas de refletância de acordo com a Equação 5[2], tomando-se o comprimento de onda no intervalo de 2 a 25 μ m.

$$\epsilon(T) = \frac{\int_{2\mu m}^{25\mu m} [1 - R(\lambda, T)] B(\lambda, T) d\lambda}{\sigma T^4} \quad (5)$$

onde:

$\sigma = 5,6696 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-4}$ é a constante de Stefan-Boltzmann e B(λ , T) é a curva de irradiação espectral do corpo negro, Equação 6:

$$B(\lambda, T) = \frac{C_1}{\lambda^5 \left[e \left(\frac{C_2}{\lambda T} \right) - 1 \right]} \quad (6)$$

onde:

C₁ = 3,7405x10⁸W μ mm⁻² e C₂ = 1,43879x10⁴ μ mK são a primeira e a segunda constante de radiação de Planck.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO SUBSTRATO

Os resultados da análise química do alumínio comercial, utilizado como substrato, estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2 - Composição química do substrato, % em peso.

Elemento	Al	Mg	Fe	Zn	Mn
Alumínio	97,8	1,81	0,32	0,04	0,03

3.2 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS RECOBRIMENTOS

Os resultados da análise química da 2ª camada dos recobrimentos de Ni-NiO, calculados pela Equação 1, são mostrados na Tabela 3.

Tabela 3 - Percentagem em peso (%p) de Ni e NiO.

Amostra	Ni	NiO
A	45,8 ± 5,2	54,2 ± 5,2
B	31,3 ± 8,6	68,7 ± 5,7
C	34,6 ± 7,3	65,4 ± 7,3
D	35,1 ± 5,7	64,9 ± 8,6
E	48,5 ± 4,1	51,5 ± 4,1

3.3 MEDIDA DA ESPESSURA DOS FILMES

As espessuras dos recobrimentos, expressas em nanômetros, são mostradas na Tabela 4. A amostra D apresentou a menor espessura, 233 ± 18 nm. O tempo total para deposição dos filmes foi de 20 minutos, 10 minutos para recobrimento com Ni na camada base e 10 minutos para recobrimento com Ni-NiO na camada de topo. A amostra C, recoberta em 150 minutos (60 minutos para se recobrir com Ni e 90 minutos para se recobrir com Ni-NiO), apresentou a maior espessura, 1850 ± 153 nm. A taxa de deposição por "sputtering" a uma potência de 600W foi determinada em 12nm/min

Tabela 4 – Espessura dos recobrimentos

Amostra	Espessura do filme (nm)	Espessura da 1ª camada (nm)
A	1.190	480
B	244	120
C	1.850	720
D	233	125
E	360	119

3.4 MICROESTRUTURA DOS RECOBRIMENTOS

3.4.1 Avaliação Metalográfica

A Figura 4 ilustra a microestrutura bifásica de Ni e NiO na camada de topo da amostra "A" observada ao microscópio eletrônico de varredura (MEV). A fase Ni é observada nas áreas escuras enquanto a fase de NiO nas áreas claras [10,11].

Por análise de área verificou-se que as percentagens em peso de Ni e NiO coincidem com os valores obtidos na Tabela 3. Para a amostra "A" esses valores de 45,8% Ni e 54,2% de NiO foram obtidos com 60 minutos de deposição de Ni-NiO empregando 50% de oxigênio e 50% de argônio na mistura gasosa. A imagem de MEV com elétrons retroespalhados que bem retrata a superfície das amostras ilustra as diferentes composições químicas. Esse fato, colabora quanto ao exame da 2ª camada dos recobrimentos produzidos, constituída de Ni e NiO.

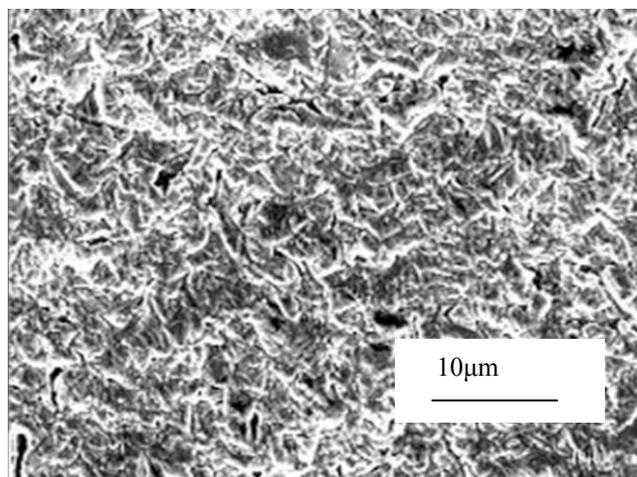


Figura 4 - Microestrutura bifásica de Ni-NiO.

3.4.2 Análise de Difração de Raios X

A análise de difração de raios X realizada com ângulo rasante de $0,5^\circ$ permitiu identificar na 2ª camada dos recobrimentos as fases presentes de Ni e NiO. Utilizou-se para isso as cartas padrões de fases inorgânicas [12]. Os difratogramas de raios X segundo um perfil linear são característicos de amostras com estrutura basicamente cristalina Figura 5. Esses recobrimentos correspondem às amostras "A", "B" e "E". Os perfis sinuosos são características de recobrimentos com parte amorfa. É o caso das amostras "D" e "C".

Observa-se picos acentuados de Ni nos planos cristalográficos (111) em ângulos de difração $2\theta = 45^\circ$ e picos de NiO nos planos (111) em ângulos $2\theta = 37,7^\circ$ [1,12]. A estrutura cristalina da fase Ni é cúbica de fase centrada (CFC). A estrutura da fase NiO é uma composição de 2 redes cristalográficas CFC [7]. Os difratogramas das amostras "A" e "E" se assemelham aos padrões de maior cristalinidade de Ni-NiO [1].

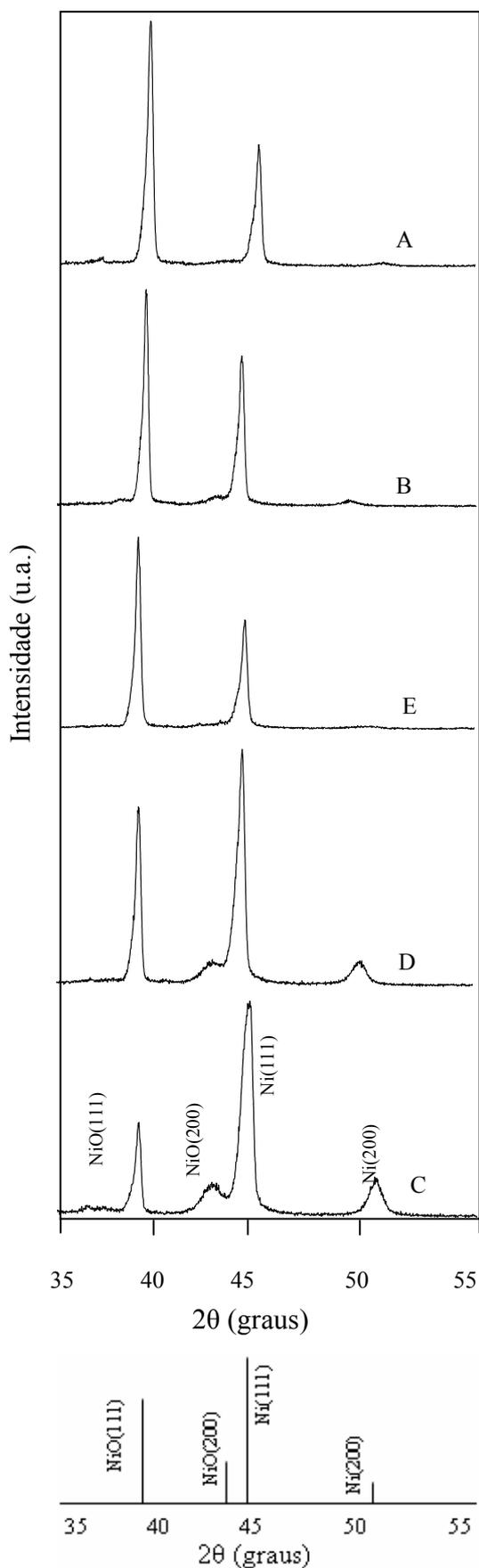


Figura 5 – Difratoogramas das amostras recobertas e padrões de Ni e NiO.

3.4.3 Tamanho de Grão das Fases Presentes

Empregando-se a Equação 2 calculou-se o tamanho de grão dos recobrimentos das amostras recobertas com diferentes parâmetros de deposição. A Tabela 5 apresenta os resultados do tamanho de grão das fases presentes na 2ª camada dos recobrimentos constituída de Ni e NiO. O pico de máxima intensidade observado nas análises de difração de raios X tanto para o Ni como para o NiO é relativo ao plano cristalográfico (111) das respectivas fases.

Tabela 5 – Tamanho de grão das fases presentes na 2ª camada dos recobrimentos.

Amostra	Plano(hkl) pico mais intenso	Tamanho de grão, Ni (nm)	Tamanho de grão, NiO (nm)
A	(111)	18,11	23,24
B	(111)	16,09	30,90
C	(111)	15,24	21,07
D	(111)	17,58	38,63
E	(111)	14,34	35,66

De acordo com os resultados do tamanho de grão, a camada de topo dos recobrimentos é composta por grãos nanométricos. Os grãos de NiO são maiores do que os grãos de Ni.

3.4.4 Morfologia dos Recobrimentos

A morfologia das amostras “A” e “C” examinadas ao microscópio de força atômica (MFA) é mostrada na Figura 6. A mistura gasosa, 50% de Argônio e 50% de O₂, empregada para o recobrimento da amostra “A” tem maior percentagem em volume de O₂ do que aquela utilizada para recobrimento da amostra “C”, 70% Argônio e 30% de O₂. Percebe-se claramente grãos de NiO na microestrutura das amostras recobertas, assim como, microporosidades nas superfícies das mesmas [1,13].

Nota-se, que a amostra “C”, Figura 6(b) é mais porosa do que a amostra “A”, Figura 6(a).

3.5 ABSORTÂNCIA DAS AMOSTRAS RECOBERTAS

A Figura 7 mostra a variação da absorvância das amostras na região do visível e do infravermelho próximo, em função do comprimento de onda.

Os resultados de absorvância solar média (α), calculados pela Equação 3, são mostrados na Tabela 6. A amostra “A” apresentou os maiores valores de absorvância, 99,2%, ao passo que a amostra “B” teve 98,0% de absorvância, o menor valor. A camada de anti-reflexão (AR) da amostra “A” tem 45,8% em peso de NiO e da amostra “C” tem 31,3% de NiO. Assim, observa-se que o aumento de NiO na camada

de anti-reflexão (AR) dos recobrimentos, aumenta a absorção de calor.

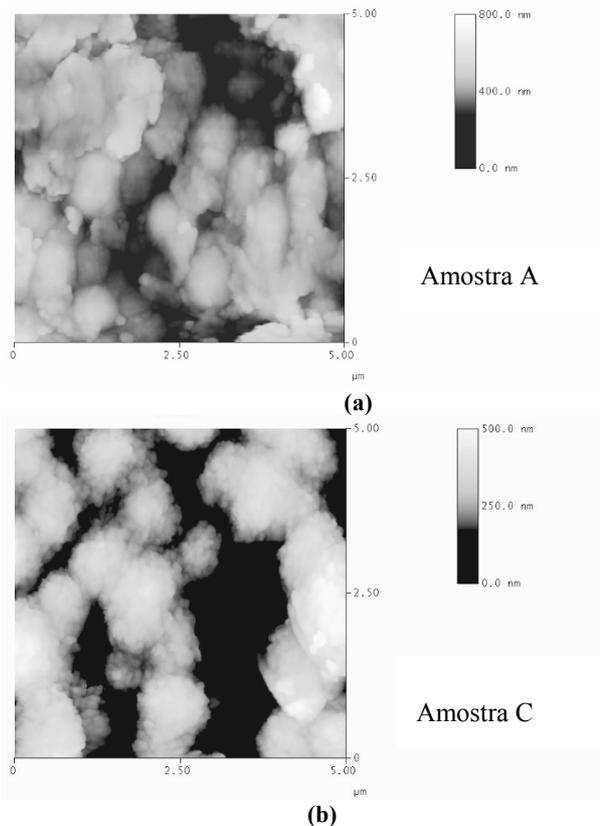


Figura 6 – Micrografias ao MFA de filmes de Ni-NiO depositados por “sputtering”: (a) Amostra “A”, (b) Amostra “C”.

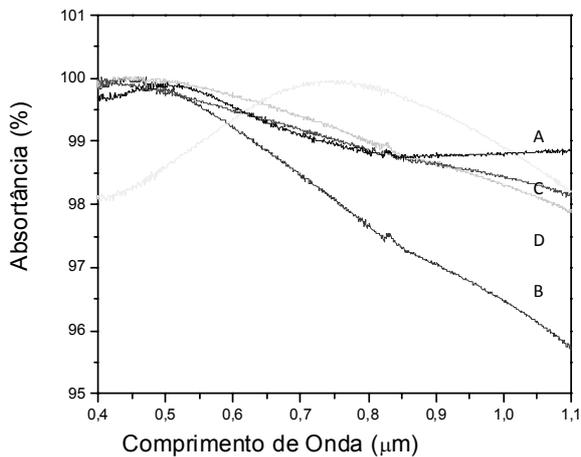


Figura 7 - Variação da absorptância das amostras na região do visível e infravermelho próximo.

Tabela 6 - Valores de absorptância média na região do visível e infravermelho próximo.

Amostra	α (%)
A	99,2 ± 0,2
B	98,0 ± 0,6
C	99,1 ± 0,3
D	99,0 ± 0,4
E	98,1 ± 0,9

A Figura 8 mostra a variação da absorptância das amostras na região do infravermelho distante, em função do comprimento de onda. Nota-se que os valores da absorptância diminuem à medida que o comprimento de onda aumenta. As amostras “A”, “D” e “E” são aquelas que apresentam menor absorção de calor nessa região.

3.6 EMITÂNCIA TÉRMICA DAS AMOSTRAS

Os valores de emitância térmica (ϵ) das amostras recobertas na região do infravermelho distante foram calculados pela Equação 5 e são mostrados na Tabela 7. Empregou-se como temperatura de trabalho, $T = 100^\circ\text{C}$. Os valores da emitância das amostras “A” e “E” com 9,4% e 10,7%, respectivamente, foram mais baixos do que as demais amostras. Nota-se que as amostras “A” e “E” têm menor emissão de calor na região do infravermelho distante.

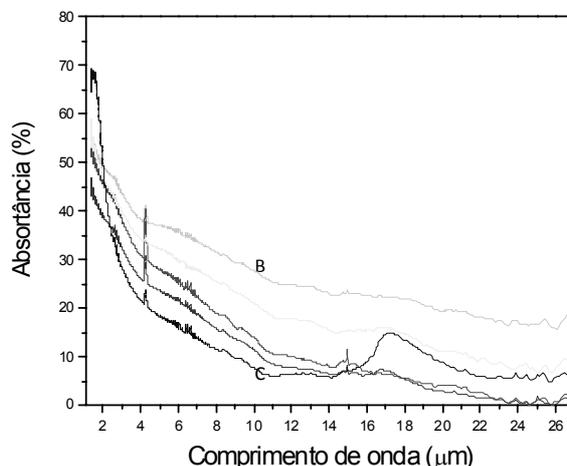


Figura 8 - Variação da absorptância das amostras na região do infravermelho distante.

Tabela 7 - Valores da emitância térmica na região do infravermelho distante.

Amostra	ϵ (%)
A	9,4 ± 1,1
B	25,0 ± 2,0
C	19,0 ± 0,8
D	12,3 ± 0,9
E	10,7 ± 0,3

3.7 RAZÃO ENTRE ABSORTÂNCIA SOLAR E EMITÂNCIA TÉRMICA

A absorptância solar média (α) na região do visível/infravermelho próximo foi relacionada com a emitância térmica (ϵ) na região do infravermelho médio/distante através da razão α/ϵ . A Tabela 8 mostra os resultados dessa razão para as diversas amostras recobertas.

Tabela 8 – Razão α/ϵ (absortância/emissão) das amostras recobertas.

Amostra	α/ϵ
A	10,4
B	3,9
C	5,2
D	7,5
E	9,0

O que se espera das superfícies seletivas para aplicações fototérmicas é uma alta absortância solar e uma baixa emitância térmica. Essas superfícies devem absorver muito no visível e infravermelho próximo e emitir pouco no infravermelho médio e distante, ou seja, elas devem apresentar uma alta razão " α/ϵ ". A função do NiO é aumentar a absorção solar e a do Ni é refletir o infravermelho médio e distante, procurando minimizar os efeitos da emissão térmica.

ADSTEN *et al*, 2000 e ZHAO *et al*, 2007 calcularam os valores da razão α/ϵ em 7,4 e 9,6 respectivamente. As amostras "A" e "E" com razão α/ϵ de 10,4 e 9,0 aproximam-se do maior valor 9,6 encontrado por ZHAO em seus mais recentes trabalhos.

As amostras "B" e "C" obtiveram as menores razões α/ϵ , 3,9 e 5,2, respectivamente, resultados que não contemplam o escopo desse estudo.

4. CONCLUSÕES

Obteve-se filmes de Ni-NiO com espessuras nanométricas em substrato de alumínio por deposição catódica, "magnetron sputtering", fonte DC, reativo.

Os melhores requisitos de qualidade como alta absortância solar e baixa emitância térmica, foram atingidos com as amostras "A" e "E". Essas amostras apresentaram maiores razões α/ϵ , 10,4 e 9,0 e maiores teores de NiO, 45,8 e 48,5% respectivamente. Destaca-se que o fluxo de O₂ (% do gás reativo) e o tempo de deposição de NiO são fatores fundamentais na formação e na concentração da camada de anti-reflexão (AR) de NiO.

De acordo com as análises de DRX (Difração de Raios X) nota-se que as amostras "A" e "E", com melhores propriedades óticas, são também aquelas que apresentam maior cristalização.

A microestrutura das amostras quanto ao teor e a cristalização das fases presentes têm significativa influência nas propriedades óticas dos filmes produzidos.

A morfologia no que diz respeito à forma e distribuição dos grãos assim como a porosidade das amostras afetou a absorção de calor e a emissão térmica dos filmes de Ni-NiO.

A amostra "A" apresentou o maior valor de absortância solar, 99,2% na região do visível e infravermelho próximo o menor valor de emitância térmica, 9,4% na região do infravermelho distante.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq e ao CETEC pelo apoio recebido para a realização desse trabalho.

REFERÊNCIAS

1. HOTOVY, I.; HURAN, J.; SPIESS, L.; LIDAY, J.; SITTER, H.; HASCIK, S., *Vacuum* 69 (2003) 237.
2. KENNEDY, C.E., *Review of Mid-to-High Temperature Solar Selective Absorber Materials*, NREL, Colorado, U.S., 2002.
3. WÄCKELGARD, E.; HULTMARK, G., *Solar Energy Materials and Solar Cells* 54 (1998) 165.
4. RESENDE, S.M., *Materiais e Dispositivos Eletrônicos*, Editora Livraria da Física, São Paulo, 2ª edição, 2004.
5. ZHAO, S., *Spectrally Selective Solar Absorbing Coatings Prepared by DC Magnetron Sputtering*, Ph.D. Thesis (2007). Faculty of Science and Technology, Uppsala University, Sweden.
6. ZHAO, S.; RIBBING, C.G.; WÄCKELGARD, E., *Solar Energy* 78 (2004) 125.
7. CHUNG, F.H., *Diffraction Method for Quantitative Multi-component Analysis*, Universidade de Chicago Press, Chicago, 1973.
8. CULLITY, B.D., *Elements of X-Ray Diffraction*, Addison-Wesley Publishing Company, London, 1967.
9. CALLISTER Jr., W.D., *Ciência Engenharia de Materiais - Uma Introdução*, Editora LTC, São Paulo, 2002.
10. CHEN, H.L.; LU, Y.M.; HWANG, W.S., *Surface & Coatings Technology* 198 (2005) 138.
11. SASI, B.; GOP, C.; HANDRAN, K.G.; MANOJ, P.K.; KOSHY, P.; RAO, P.P.; VAIDYAN, V.K., *Surface Engineering Instrumentation & Vacuum Technology* 68 (2003) 149.
12. JCPOS, *International Center for Diffraction Data. Powder Diffraction File, Inorganic Phases*. 1601 Park Lane, 1982.
13. CHEN, W.F.; WU, S.Y.; FERNG, Y.F., *Materials Letters* 60 (2005) 790.
14. ADSTEN, M.; JOERGER, R.; JÄRREND AHL, K.; WÄCKELGARD, E., *Oxide Solar Selective Surface, Solar Energy* 68 (2000) 325.