

PESQUISA E DESENVOLVIMENTO DE FILMES FINOS PARA JANELAS INTELIGENTES

Reinaldo Trindade Proença – reinaldo.proenca@cetec.br

Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Nuclear
Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais, Setor de Materiais Ópticos e Eletrônicos

Wagner Sade – wagner.sade@cetec.br

Universidade Federal de Ouro Preto, Rede Temática em Engenharia de Materiais
Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais, Setor de Materiais Ópticos e Eletrônicos

Fernanda Pelegrini Honorato Proença – fernandahonorato@ufmg.br

Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Elétrica
Prefeitura Municipal de Belo Horizonte, Superintendência de Desenvolvimento da Capital

Antônia Sônia Alves Cardoso Diniz – asacd@cemig.com.br

Companhia Energética de Minas Gerais, Gerência de Eng. de Planej. e Exp. do Sist. de Distribuição

José Roberto Tavares Branco – jose.branco@cetec.br

Richard Poillerat de Andrade – richard.poillerat@cetec.br

Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais, Setor de Materiais Ópticos e Eletrônicos

6.1 Arquitetura Sustentável & Energia Solar

Resumo. *A conscientização quanto às limitações necessárias ao uso de recursos naturais impõe questões referentes a um projeto arquitetônico mais racional do ponto de vista energético. As características de uma edificação passam a ter um papel de destaque no tocante à eficiência energética. Neste contexto, a pesquisa e o desenvolvimento de janelas inteligentes (dispositivos eletrocromicos) tornam-se relevantes para a agenda energética nacional e também mundial, pelo papel que podem desempenhar no tocante ao conforto térmico e visual, possibilitando a redução do consumo de energia elétrica de lâmpadas e aparelhos de ar condicionado. Dentre as técnicas promissoras para a produção de filmes para este dispositivo, a pulverização catódica ou “sputtering” apresenta vantagens devidas à qualidade dos produtos, a diversidade dos materiais que podem ser utilizados e à possibilidade de seu uso para produção seriada. Por outro lado, os processos químicos têm o atrativo do baixo custo de produção. Apesar disto, são poucos os trabalhos brasileiros pertinentes. Neste estudo são investigadas propriedades específicas de filmes de óxido de titânio e de níquel produzidos por técnicas de deposição física de vapores, deposição química e tratamento termoquímico. Os filmes foram analisados por microscopia de força atômica, espectroscopia UV-VIS-NIV e difração de Raios-X. A qualidade dos filmes é discutida a luz de análises.*

Palavras-chave: *Conforto Térmico, Eficiência Energética, Janelas Inteligente, Filmes Finos*

1. INTRODUÇÃO

O setor elétrico nacional, recentemente, discutiu propostas de sua reestruturação na busca de um modelo que garanta um equilíbrio entre a oferta e a demanda de energia, necessária para o crescimento do País. Entretanto, juntamente a todas as incertezas e questionamentos, há uma direção a ser seguida: utilizar a energia e os recursos de que dispomos de forma racional e inteligente. Essa direção, ainda não internalizada na cultura brasileira, precisa se tornar um valor importante não apenas nas políticas de governo ou das concessionárias como também nas nossas ações cotidianas, nas atividades empresariais e no exercício da cidadania.

Em um tempo de escassez de recursos para novos investimentos, a eficiência energética, resultado do combate ao desperdício de energia e da efficientização de processos que a utilizam, é um instrumento de competitividade e cidadania a ser oferecido a sociedade.

Este trabalho pretende estudar o desenvolvimento de Janelas Inteligentes (*Smart Windows*) e suas aplicações de forma a contribuir na questão de Eficiência Energética. A Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais (CETEC-MG) em parceria com a Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG) trabalha neste projeto.

A pesquisa e o desenvolvimento de filmes finos são de fundamental importância para a produção das Janelas Inteligentes. Essa janela é capaz de controlar a luminosidade do ambiente, bem como regular a intensidade da luz e atuar na temperatura do local em que está instalada. Como resultado, pode-se ter um menor uso de ventiladores e aparelhos de ar condicionado para refrigeração durante o verão ou aquecedores durante o inverno. O envidraçamento eletrocromico pode ser fabricado com cinco (ou menos) camadas que consistem em dois condutores transparentes (TCO), um eletrólito ou condutor de íons, um eletrodo contator e uma camada eletrocromica (LAMPERT, 2004). Na Figura 01 temos um esquema da estrutura em camadas de uma janela inteligente (fora de escala). A construção é similar a de uma bateria.

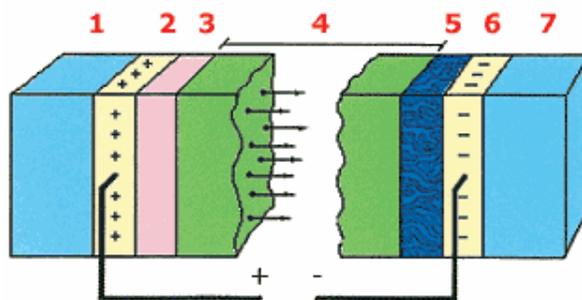


Figura 1 – Esquema de Janela Inteligente 1.vidro 2.óxido condutor 3. filme eletrocromico 4. Polímero com metal ou cátions que sairão desta camada para a eletrocromica com cargas negativas. 5. Filme eletrocromico com coloração elétrica oposta a anterior. 7. Vidro.

A economia de energia de uma Janela Inteligente é do mesmo nível que a energia que poderia ser gerada em um painel fotovoltaico, utilizando as células solares mais eficientes atualmente, sendo este instalado na mesma posição da janela. (GRANQVIST, 2002)

Economizando energia, adia-se a necessidade de construção de novas usinas geradoras, disponibilizando recursos para outras áreas e contribuindo para preservação da natureza.

2. JANELAS E O CONSUMO DE ENERGIA

As janelas, aberturas e proteções (cortinas, brises) proporcionam em uma edificação o controle da passagem da luz e de ar para o interior do ambiente. Através destes fechamentos, que usualmente são transparentes, torna-se possível o contato visual entre os ocupantes de uma edificação e o meio externo. As características construtivas desses elementos possibilitam o isolamento ao frio ou calor e também possibilitam uma maior privacidade. As janelas são um dos mais interessantes e sensíveis elementos no projeto de uma edificação, devido a suas funções e a sua relação com o ambiente externo (MARINOSKI, 2005).

No projeto arquitetônico, as janelas tendem a ocupar um lugar de destaque na estética do projeto. Mas, além da atribuição estética, ela vem despertando uma preocupação com relação ao consumo de energia de uma edificação. O interesse nasce da sua relação com o dimensionamento de sistemas de iluminação e o condicionamento de ar.

O custo de energia é cada vez mais elevado e, portanto, as edificações não podem ser vistas apenas como à parte no meio. Outro ponto é que as janelas não consomem energia, porém é necessário pensar na questão de forma ampla. O consumo não tem relação direta ao elemento janela, mas aos efeitos que esta causa no ambiente. Ela exerce forte influência sobre o desempenho energético de uma edificação. Basta imaginar dias quentes e dias frios onde se atua no elemento janela na busca de estabelecer um melhor conforto no ambiente.

3. JANELAS INTELIGENTES

As janelas inteligentes ou electrocrômicas são dispositivos que representam a aplicação prática do fenômeno chamado electrocromismo. Por definição, electrocromismo implica em uma mudança reversível de coloração, ocasionada pela aplicação de uma diferença de potencial ou corrente elétrica. Os dispositivos electrocrômicos apresentam a estrutura de sanduíche, composta por filmes finos de óxidos condutores como o Óxido de Zinco (ZnO) e Óxido de Estanho (SnO₂), e uma segunda camada de filme electrocrômico como o Óxido de Tungstênio (WO₃) e Óxido de Titânio (TiO₂) (GRANQVIST, 1998). Uma janela inteligente é composta por camadas que lhe conferem a propriedade de mudar de cor com aplicação de corrente elétrica, como mostra a figura 2, e conseqüentemente alterar a transmissão de luz. Esta transmitância varia conforme o estado colorido ou estado transparente (GRANQVIST, 2002). A transmitância na região do visível chega a 20% para o estado colorido e a 80%, aproximadamente, para o estado transparente. A dinâmica existente entre o estado colorido e o estado transparente é basicamente regulada por técnicas de deposição e podem ser verificadas também por dados voltamétricos (GRANQVIST, 1998).

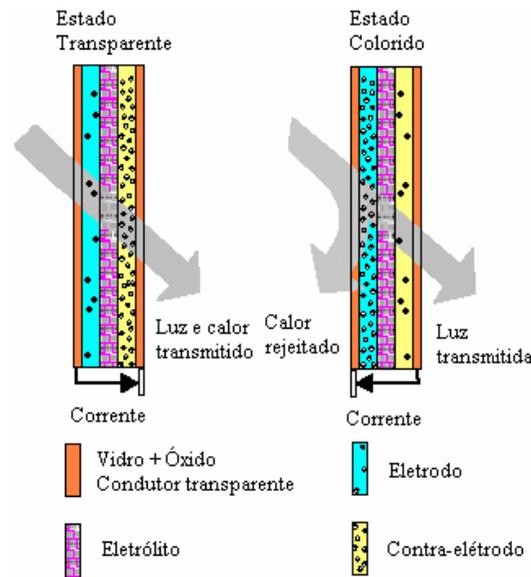


Figura 2 - Janela Inteligente, controlada por eletricidade para variação de luminosidade e transmissão de calor

A parte central é um condutor puramente iônico (eletrólito), usualmente um filme fino ou um material polimérico laminar, que deve ser um bom condutor para pequenos íons tais como Li⁺ ou H⁺. O eletrólito fica em contato com uma camada electrocrômica e um contra-eletródo. O último, no caso de um dispositivo transparente, deve exibir electrocromismo de maneira oposta à aquela do filme electrocrômico base. Idealmente, o filme electrocrômico (contra-eletródo) pode apresentar um forte electrocromismo catódico ou anódico (AVELLANEDA et al, 2005).

O trabalho desenvolvido de um protótipo de janelas inteligentes, dispositivo este que proporciona um maior conforto térmico e luminoso nas edificações. Isto porque o aproveitamento da energia solar tem sido o foco de inúmeras pesquisas visando eficiência energética e redução do consumo de energia. Hoje, é notório o desenvolvimento de tecnologias para a utilização desta energia (TORRESI, 1999; GRANQVIST, 2002).

Janelas inteligentes são dispositivos capazes de controlar a luminosidade e a temperatura do ambiente. Nas janelas construídas a partir de cristais líquidos, tem-se uma redução na transparência das mesmas. Já nas janelas de materiais eletrocromicos, tem-se uma redução na transmitância da luz (GRANQVIST, 1998).

Em janelas inteligentes, o óxido de titânio é uma ótima opção devido a suas propriedades eletrocromicas e funciona como uma camada que muda de coloração com a inserção de íons como o lítio. O lítio migra dessa camada para a camada que contém óxido de titânio com propriedade eletrocromica, através de uma reação química, a qual altera a transmissão de luz neste material. A coloração de um material eletrocromico é controlada pela variação do número de cargas envolvidas na reação eletrocromica (TORRESI, 2000). Os filmes de TiO₂ e NiO apresentam coloração catódica e anódica, respectivamente, tornando-os de interesse para produção de um dispositivo eletrocromico.

4. CONFORTO TÉRMICO

Em termos de projeto, deve-se sempre permitir a entrada gerenciada da radiação solar, através do aproveitamento da insolação, iluminação e ventilação naturalmente disponível. Esta entrada deverá ocorrer sobre o envelope construtivo, por meio do estudo adequado da orientação, do sombreamento, da escolha de matérias e da redução das cargas térmicas internas.

O Brasil encontra-se dividido em oito Zonas Bioclimáticas. Apesar de sua dimensão e da predominância do clima tropical, a falta de proteção adequada das janelas traz problemas de desconforto ambiental. O comportamento do vidro frente à radiação solar e suas possíveis repercussões no aquecimento e resfriamento devem ser analisados criteriosamente em um projeto de janela. O vidro pode ser considerado transparente a radiações solares de pequeno comprimento de onda e opaco a radiações de grande comprimento de onda. Portanto, a radiação solar que entra por uma janela não retornará da mesma forma ao exterior, aquecendo o ambiente. Uma parte do calor absorvido será reemitido ao exterior da janela em forma de condução (PROENÇA, 2005).

Conforto Ambiental, em projetos de arquitetura, significa em linhas básicas o atendimento a algumas necessidades orgânicas – basicamente acústicas, higrotérmicas, visuais e de qualidade do ar. Recentemente, vem se agregando a questão de sustentabilidade a seu conceito, o que se traduz em novas escolhas de procedimentos e materiais que resultem no menor impacto ambiental possível (KRAUSE, 2002). No âmbito da eficiência energética, conforto ambiental incorpora um atributo a mais. Quando obtido, gera um ambiente saudável ao uso e uma fatura de energia elétrica mínima necessária para complementar os momentos em que o microclima externo não oferece as condições necessárias de iluminação, temperatura, qualidade do ar, umidade ou silêncio. O grande desafio no âmbito da eficiência energética consiste em garantir, via definição, um ambiente interno o mais ameno possível durante o período de ocupação – em geral diurno – de forma a retardar, ou mesmo evitar, que o usuário inicie o processo de climatização artificial e que, se necessário, este processo seja o mais econômico possível.

5. FILMES FINOS

O desenvolvimento de técnicas baseadas na fabricação de filmes finos, aplicada à ciência dos materiais é um dos grandes responsáveis pelo avanço tecnológico atual. Filmes finos apresentam uma infinidade de aplicações tecnológicas dentre as quais se podem citar: dispositivos eletrocromicos, fotovoltaicos, fotoluminescentes, sensores, baterias de estado sólido, células solares, células a combustível, gravadores e leitores magnetos-ópticos. As possibilidades de se estender, ainda mais, a

gama de aplicações dos materiais, bem como as modulações das diversas propriedades são inúmeras.

Os filmes finos podem ser produzidos por uma infinidade de técnicas dentre as quais podem ser destacadas a Deposição Física de Vapores, Deposição Química de Vapores, Sol-Gel, Banhos Químicos e Spray Térmico (MENG, 2006). As vantagens dos filmes finos incluem as possibilidades de deposição em grandes áreas e a utilização de substratos de baixo custo, tais como vidro, plástico ou laminas. Neste trabalho, foram preparados filmes finos de óxido de titânio (TiO_2) e de óxido de níquel (NiO) para funções de eletrodo e contra-eletrodo, respectivamente, de um dispositivo eletrocromico (Janela Inteligente).

Os filmes de Óxido de Titânio foram produzidos por Deposição Física de Vapores. O processo de Deposição Física de Vapores ocorreu no sistema BAI640R.

Já os filmes de Óxido de Níquel foram depositados em banho por processo químico autocatalítico e posteriormente foram oxidados por duas vias: tratamento térmico em atmosfera de oxigênio e banho de peróxido de hidrogênio concentrado. O recobrimento autocatalítico de Níquel Químico foi realizado em 1923 e redescoberto por Brenner em 1946 (BRENNER, 1954). O processo consiste na redução química, sem a utilização de corrente elétrica, de íons níquel, Ni^{+2} , que são reduzidos a Ni^0 e depositados na superfície da peça a partir de banhos químicos, aquecidos a 90°C , em solução de sulfato de níquel e hipofosfito de sódio. O potencial de hidrogenação (PH) da solução foi mantido igual a 10 a fim de se obter a deposição de níquel.

5.1 Coloração de filmes finos

Os materiais eletrocromicos têm sido extensivamente estudados para uso potencial em painéis de informação, aplicações em automóveis e janelas para controle de intensidade dos raios solares. O eletrocromismo (um efeito do estado sólido) está presente em um grande número de materiais. Uma ampla extensão de materiais tem a propriedade de alterar sua cor quando uma tensão é aplicada, ou alternativamente, uma corrente é passada através dele. Esta mudança de cor deverá ser reversível, quando a tensão é removida ou quando a polaridade da tensão ou corrente é invertida (TORRESI, 2000).

Por serem frequentemente amorfos e porosos, filmes eletrocromicos apresentam condutividade iônica e eletrônica gerando uma rede aberta para rápida difusão iônica (TORRESI, 2000). Uma característica comum deste tipo de material, diferente dos cristais-líquidos usados em visores é que, uma vez que estes materiais se tornam coloridos, a tensão aplicada pode ser desligada e a cor conservada, tornando o dispositivo eletrocromico mais eficiente em energia (YOONG et al, 1989).

A coloração de um material eletrocromico é controlada pela variação do número de cargas elétricas envolvidas na reação eletrocromica. Os vários tipos de materiais ou sistemas eletrocromicos podem ser classificados com base em seu mecanismo de coloração, como sendo de dois tipos: (1) materiais de inserção de íons, constituídos por filmes finos que mudam de cor via inserção rápida e reversível de íons e elétrons dentro do material. (2) sistemas de eletrodeposição reversível onde, como o próprio nome implica, trata-se de uma mudança de cor efetiva via deposição e dissolução de filmes finos sobre um substrato condutor transparente. Exemplos notáveis destes materiais são os viológenos e a prata.

Há um crescimento no interesse em dispositivos eletrocromicos eletrodepositados reversivelmente, especialmente devido a sua alta eficiência de coloração, efeito de memória, rápida cinética de coloração e durabilidade (TORRESI, 2000). Além da capacidade de bloquear a transmissão de raios infravermelhos, estas janelas apresentam uma variação em sua coloração que depende do material escolhido para sua fabricação. A Tabela 1 apresenta materiais potencialmente úteis para estas aplicações (TORRESI, 2000).

Tabela 1. Representação das propriedades de Materiais Eletrocromicos

CLASSIFICAÇÃO	MATERIAL ELETROCRÔMICO	CORES DE TRANSIÇÃO	EFICIÊNCIA ELETROCRÔMICA (cm ² C ⁻¹)
Coloração Catódica	WO ₃	Transparente/azul escuro	115 (633nm)
	MoO ₃	Transparente/azul escuro	5 (633nm)
	Nb ₂ O ₃	Transparente/azul claro	90 (633nm)
	TiO ₂	Transparente/azul claro	8 (646nm)
Coloração Anódica	NiO	Transparente/Marrom escuro	50 (350-500nm)
	IrO ₂	Transparente/preto	15-18 (633nm)
	IRTOF ²	Transparente/preto	20 (633nm)
Coloração Anódica e Catódica	V ₂ O ₅	Cinza/amarelo	80 (514nm)
	CoO _x	Vermelho/azul	30 (633nm)
	Rh ₂ O ₃	Amarelo/Verde	20 (546nm)

A luz se propaga através de ondas eletromagnéticas. O olho humano é sensível à radiação eletromagnética na faixa de 380 a 780 nanômetros, o espectro visível, divididos em sete cores, distinguíveis por seus respectivos comprimentos de onda.

6. MATERIAIS E MÉTODOS

Foram produzidos filmes eletrocromicos depositados sobre óxidos condutores transparentes previamente preparados. Os filmes de TiO₂ foram produzidos pela técnica de Deposição Física de Vapores, especificamente, deposição a vácuo assistida por plasma. Já os filmes de NiO foram produzidos a partir de filmes de níquel depositados quimicamente, por processo auto-catalítico, utilizando-se duas formulações de banhos. Ambos filmes receberam um pós tratamento termoquímico para oxidação das amostras.

Os filmes foram analisados por microscopia de força atômica, espectroscopia UV-VIS-NIV e difração de Raios-X. A qualidade dos filmes é discutida a luz de análises.

7. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No presente artigo apresenta-se os resultados de Microscopia de Força Atômica (MFA), Espectroscopia UV-VIS-NIV (transmissão) e difração de Raios-X.

A superfície e a morfologia dos filmes foram analisadas empregando-se Microscopia de Força Atômica. Tais análises permitiram a observação da morfologia das amostras bem como obtenção da rugosidade da superfície e do tamanho de grão das mesmas. Na técnica de MFA, a imagem é formada pela interação entre a amostra e uma sonda mecânica finíssima, cujo raio de curvatura da ponta é da ordem de 5nm, que varre a amostra Tateando-a. No modo Tapping, uma sonda de Silício (Si) é forçada a oscilar em uma frequência da ordem de 200kHz sobre a superfície da amostra, tocando-a periodicamente. Este modo diminui as forças de arraste laterais presentes no modo de operação em contato constantes, reduzindo os riscos de deterioração e mudança morfológica da superfície devido à interação com a sonda. Por ser formada predominantemente por uma interação de curto alcance (~ 1nm), a imagem obtida por MFA carrega informação tridimensional quantitativa, isto é, as dimensões da amostras são quantificadas nas três direções espaciais (JUNQUEIRA, 1997).

A caracterização óptica dos filmes foi realizada utilizando-se espectroscopia UV-VIS-NIV. As análises dos espectros de transmitância e de refletância obtidos na região de absorção do filme permitiram a obtenção do coeficiente de absorção das amostras. Com a técnica, pode-se determinar a transmitância máxima e o seu respectivo comprimento de onda.

A análise estrutural dos filmes foi feita por difração de raios X com ângulo de incidência rasantemente entre 1° e 3,5°. Neste método, o ângulo de incidência (θ) é desacoplado do ângulo percorrido pelo detector (2θ) e permanece fixo em valores pequenos ($\sim 1^\circ$). Assim, é possível garantir uma baixa profundidade de penetração e um grande volume irradiado. No método convencional de difração de raios X com ângulo acoplado, chamado de Bragg-Bretano, o feixe incidente atingiria o substrato, dificultando a obtenção de informações de amostras muito delgadas.

7.1 Oxido de Titânio

Duas amostras são consideradas inicialmente na análise dos resultados para os filmes de oxido de titânio, posteriormente as amostras foram tratadas em forno para tratamento térmico. Da análise de Microscopia de Força Atômica temos:

Tabela 2. Espessuras das amostras de óxido de titânio

Amostra	Espessura (nm)
T1	261
T2	26
T1 tratada a 450°C	239
T2 tratada a 450°C	24

A grande variação na espessura do filme pode ser observada devido ao tempo de deposição de cada um dos filmes, sendo que a amostra T1 foi recoberta durante um tempo maior.

Medidas óticas na faixa de radiação visível das amostras foram realizadas em comprimentos de onda entre 350nm e 850nm, a temperatura ambiente.

7.2 Oxido de Níquel

As análises de Microscopia de Força Atômica foram realizadas para diversas amostras de óxido de níquel. Os filmes de Ni, com espessura de aproximadamente 500nm, após a oxidação apresentaram espessura entre 260 e 950nm, Tabela 3.

Tabela 3. Espessuras das amostras de níquel e óxido de níquel

Amostra	Espessura (nm)
Ni	447±36
NiO-per	444 ± 20
NiO-500	447 ± 4,6
NiO-550	930 ± 18
NiO-400	262 ± 7,0
NiO-300	340 ± 8,0

Observa-se que os filmes não estão muito uniformes o que faz que os erros sejam grandes. Além disso, o filme de menor espessura não é o mais claro. O filme mais claro é a amostra NiO-300 que possui uma boa espessura.

Os outros filmes têm as espessuras muito próximas, vê-se que o filme NiO-500 possui a mesma espessura que o filme Ni, porém ele apresenta um menor erro, sendo mais uniforme. O filme Ni não passou por tratamento térmico e o filme NiO-500 sofreu o tratamento durante 2,5 horas a uma temperatura 500°C. O filme NiO-per foi oxidado por peróxido de hidrogênio e observa-se que sua espessura diminuiu um pouco, mas continua não uniforme.

A amostra NiO-300 apresentou a menor rugosidade (14,09 nm), já a amostra NiO-550 apresentou a maior rugosidade (65,41 nm). As amostras Ni e NiO-500 têm a mesma espessura, só que na

amostra Ni a rugosidade e menor (36,156 nm) que na amostra NiO-500 (56,89 nm), pois esta foi oxidada por tratamento térmico que aumenta o tamanho dos grãos, com visto no trabalho de Ya-Qi Hou (Hou, et al, 2003). Em todas as amostras a estrutura da superfície apresenta-se porosa.

A análise de UV-VIS não foi realizada para todas as amostras. As amostras Ni, NiO-per, NiO-500, NiO-550 se apresentaram muito escuras. Pode-se observar que as amostras NiO-1, NiO-2, NiO-3 e NiO-300(ver figura 3) apresentam uma boa transmitância na faixa de 300 a 1100 nm, enquanto a amostra NiO-400 tem uma baixa transmitância, abaixo de 50%. As amostras têm um máximo de transmitância de acordo com a tabela 3.

Tabela 3 - Faixa de comprimento de onda para transmitância máxima

Amostra	Faixa de comprimento de onda (nm)
NiO-1	785 a 822
NiO-2	777 a 839
NiO-3	774 a 854
NiO-400	570 a 584
NiO-300	356 a 360

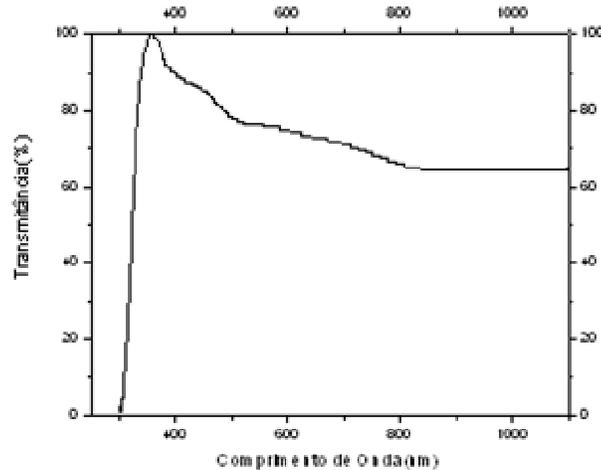


Figura 3 - Gráfico de transmitância da amostra NiO-300

Na Difração de Raios-X com baixo ângulo de incidência verificou-se a indicação de óxidos de níquel cristalino em todos os espectros. Na amostra NiO-per observa-se pico de Ni_2O_3 . Enquanto nas amostras NiO-500 e NiO-550 observam-se picos de NiO e Ni_3P , este último composto possivelmente resultante de transformação de fase no Ni-P depositado.

Observa-se que as amostra NiO-per, NiO-500 e NiO-550 foram oxidadas completamente, e que o peróxido de hidrogênio oxida até o Ni_2O_3 e que pelo tratamento térmico a oxidação vai até NiO.

Os filmes de óxido de titânio e óxido de níquel são uma boa alternativa para produção de dispositivos eletrocromicos. As técnicas de Deposição Física de Vapores, Banho Químico e Tratamento Térmico em Atmosfera controlada se mostraram eficientes na produção dos filmes. A Pesquisa e Desenvolvimento em Janelas Inteligentes utilizando eletrodos de óxido de titânio e contra-eletrodo de óxido de níquel irão continuar.

8. CONCLUSÕES

É possível concluir que através da técnica de Deposição Física de Vapores, filmes finos de titânio para aplicação eletrocromica, apresentam potencial para produção de janelas inteligentes. A pro-

dução de recobrimento de filmes finos de níquel por Banho Químico também apresentou relevância. As propriedades desses filmes estão sendo melhoradas com o desenvolvimento da pesquisa.

A pesquisa e o desenvolvimento de filmes eletrocromicos continuam com intuito de avaliar o impacto dos filmes produzidos bem como produzir novos protótipos de janela inteligente. Brevemente estaremos produzindo filmes de TiO₂ e NiO utilizando-se da técnica de *sputtering*.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG) e a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), financiadoras do projeto.

REFERÊNCIAS

- AVELLANEDA, C. O., BULHÕES L.S. and PAWLICKA A., (2005) “The CeO₂-TiO₂-ZrO₂ sol-gel film: a counter-electrode for electrochromic devices”. *Thin Solid Films*.
- BRENNER, G. E. *Electroless Plating Comes of Age, Metal Finishing*, 52 (11) p.68-70, 1954.
- GRANQVIST, C. G., *Progress in solar energy materials: Examples of work at Uppsala University. Renewable Energy* 15 (1998) 243-250
- GRANQVIST, C. G., *Smart windows and intelligent glass façades, Smart Materials Bulletin* (2002)
- JUNQUEIRA, R. M. R. et al. “Imagens de Filmes de Interferência em Aços Inoxidáveis Coloridos obtidas por Microscopia Eletrônica de Varredura e Microscopia de Força Atômica”. *Matéria Revista Científica Virtual da/del Area de Materiais/Materiales*. Vol. 2 No. 2 Dezembro de 1997
- KRAUSE, C. B. e MAIA, J. L. P. (2002), *Manual de prédios eficientes em energia elétrica*. Editora IBAM/ELETOBRAS/PROCEL. Rio de Janeiro – RJ.
- LAMPERT, C. M. *Chromogenic smart materials. Materials today* (2004) 28-35
- MARINOSKI, D. L.; LAMBERTS, R.; - *Aperfeiçoamento de um sistema de medição de ganho calor solar através de aberturas, ENCAC/ELACAC* 2005.
- MENG L., TEIXEIRA V., CUI H.N., PLACIDO F., XU Z, e dos SANTOS M.P., *A study of the optical properties of titanium oxide films prepared by dc reactive magnetron sputtering, Applied Surface Science*, Volume 252, Issue 22, , 15 September 2006, Pages 7970-7974.
- PROENÇA, R.T, Bispo, V.M.; Sabino, M.E.L.; Diniz, A.S.; Branco, J.R.T. (2005) *Estudo de filmes de ZnO e FTO para janelas inteligentes visando o confronto térmico. Encac-Elacac*
- TORRESI, M.R., OLIVEIRA C.S. (2000) “Uma visão das tendências e perspectivas em eletrocromismo: a busca de novos materiais e desenhos mais simples”. *Química Nova*. São Paulo. 23 (2000) 79-87
- YOONG, G.L. e TULLOCH, G.E. (1989). *Smart Windows- “Major Energy Saving for the Built Environment in the Tropics”*.

RESEARCH AND DEVELOPMENT OF THIN FILMS TO SMART WINDOWS

Abstract. *The understanding of the natural resource limitation brings some important questions to the architectural project. It should be energy-efficient. The characteristics of a building should consider the thermal comfort and the energy efficiency as an important point of the project. In this context, the research and development of smart windows (electrochromic devices) become very important on the country and world calendar, because of the visual and thermal comfort. The smart windows can reduce the electrical energy consumption of lamp and devices of conditioned air. Among the promising methods of film production for smart windows, sputtering is a good alternative because of the quality of the products, the diversity of the materials that can be used and the possibility to produce in large scale. On the other hand, the chemical method is no expensive. In spite of that, there are few Brazilian works about of these methods and about smart windows. At this work, some specific properties of Titanium and Nickel Oxide deposited by physical vapor deposition, chemical vapor deposition and thermo chemical treatment are investigated. The films are analyzed by atomic force microscopy, UV-VIS-NIV spectroscopy and X-ray diffraction. The films quality are discussed and analyzed.*

Key words: *Thermal Comfort, Energy Efficiency, Smart Window, Thin Films*