

## **ANÁLISE PRELIMINAR DOS REVESTIMENTOS DE SUPERFÍCIES ÓTICAS REFLETORAS PARA USO ESPACIAL**

*Gabriela dos Santos Nascimento\*, Graziela da Silva Savonov, Carina Barros Mello,  
Fabrício Iusuti de Medeiros, Rafael Lopes da Costa  
INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
Avenida dos Astronautas, 1758 – São José dos Campos – SP – Brasil  
\*gabriela.nascimento@inpe.br*

### **Resumo**

Análise preliminar dos revestimentos de superfícies óticas refletoras (OSR) utilizadas no controle térmico de satélites as quais serão parte de um experimento de degradação de revestimentos a ser embarcado no satélite CBERS 04A. Os OSR's são amostras de vidro borossilicato que foram sujeitas a limpeza química e deposição de filme refletor. A técnica empregada foi a deposição física a partir da fase vapor (PVD) com a finalidade de depositar um filme fino metálico de cromo, alumínio ou prata. Nesse tipo de processo, a deposição transforma o alvo (metal a ser depositado) em vapor por um processo de colisão atômica em um ambiente de plasma a baixa pressão, e os átomos se condensam para formar uma película que apresenta baixa rugosidade, elevada refletividade e alta resistência à corrosão. As propriedades óticas e as características morfológicas dos revestimentos depositados nas amostras foram analisadas através de refletometria e microscopia eletrônica de varredura.

### **Abstract**

Preliminary analysis of reflective optical surface coatings (OSR) used in the thermal control of satellites which will be part of a coating degradation experiment to be boarded on the CBERS 04A satellite. OSR's are boron silicate glass samples that were subjected to chemical cleaning and deposition of reflective film. The technique used was physical vapor deposition (PVD) for the purpose of depositing a fine metallic film of chromium, aluminum or silver. In this type of process, the deposition turns the target (metal to be deposited) into vapor by an atomic collision process in a low-pressure plasma environment, and the atoms condense to form a film with low roughness, high reflectivity

and high corrosion resistance. The samples were analyzed using scanning electron microscopy to verify (MEV) the morphological characteristics of deposited coatings.

## INTRODUÇÃO

Radiador solar é uma janela térmica blindada que se localiza na parte externa do satélite para irradiar o calor dos equipamentos para o espaço, já que o mesmo é exposto a condições extremas de temperatura e radiação.

Na busca de um radiador solar ideal procuram-se obter materiais que apresentem valores baixos de absorvidade no espectro solar ( $\alpha_S$ ), enquanto os valores da emissividade no espectro infravermelho ( $\epsilon_{IR}$ ) sejam os mais elevados, ou seja, uma relação absorvidade e emissividade muito menor que um.

O Radiador Solar Ótico (Optical Solar Reflector - OSR), Figura 1, é considerado o tipo mais eficiente de radiador passivo utilizado em satélites, onde  $\alpha/\epsilon \ll 1$ , característica que permite que estes revestimentos sejam utilizados para substituir a tinta branca empregada nos satélites [1]. Como possuem propriedades óticas melhores, sofrem menos degradação ao longo da vida útil do satélite e tem tamanho reduzido. Ele é basicamente um espelho de segunda superfície e apresenta uma degradação desprezível ao longo de sua exposição. O radiador é composto de uma pastilha de sílica fundida ou de borossilicato dopado com cério, onde um filme fino de prata e/ou alumínio é depositado em uma de suas faces.

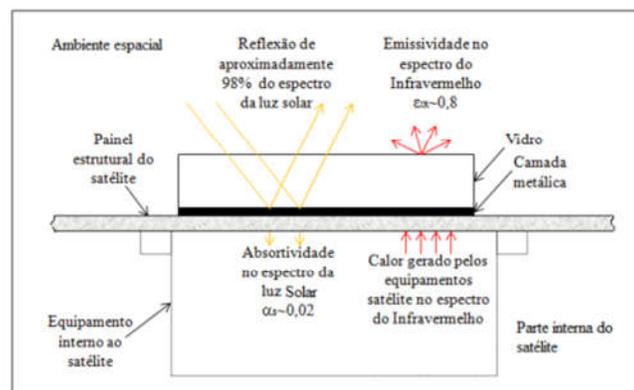


Figura 1 – Comportamento do OSR em ambiente espacial [1].

Neste trabalho, os filmes foram depositados por Implantação Iônica por Imersão em Plasma e Deposição (3IP&D) empregando magnetron *sputtering* e descarga secundária de cátodo oco. A deposição de filmes finos por magnetron *sputtering*, associado à implantação iônica por imersão em plasma e descarga secundária de cátodo oco, ocorre no interior de uma câmara de vácuo que opera em baixa pressão. Com isso, há o aumento do caminho livre médio entre as partículas e moléculas do gás inerte no interior da câmara, permitindo o rompimento da descarga após a aplicação de uma diferença de potencial no sistema. O plasma formado no interior da câmara fornece os íons que serão acelerados em direção ao material alvo por meio da tensão aplicada. O *sputtering* também conhecido como pulverização catódica, é um fenômeno físico oriundo do bombardeio iônico sobre a superfície de materiais sólidos [2]. No processo de *sputtering* DC (*direct current*) este fenômeno é reproduzido a fim de remover átomos de um determinado material e depositá-los em outro, formando um revestimento sobre ele (filme fino). Neste processo, um alvo sólido assume a condição de cátodo e o substrato, de anodo. Disposto em posição oposta ao alvo, o substrato recebe a deposição das partículas pulverizadas do material alvo por gravidade, como pode ser observado no esquema apresentado na Figura 2.

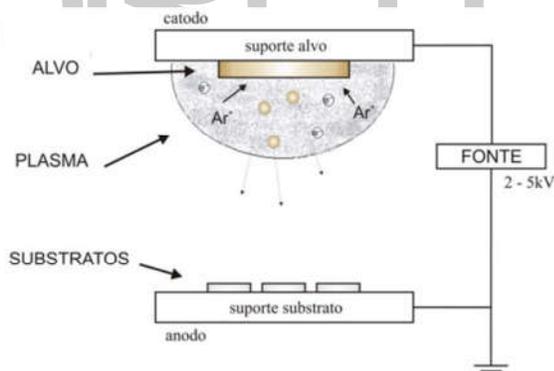
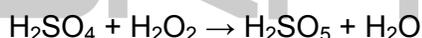


Figura 2 - Esquema da deposição por pulverização catódica (*sputtering*) [3].

Na deposição de filmes finos a presença de agentes orgânicos sobre a superfície do substrato é um dos maiores problemas para uma boa aderência do revestimento. Por este motivo, o estudo da limpeza do substrato antes da deposição do filme é essencial.

## PARTE EXPERIMENTAL

Para o desengraxe das superfícies, colocou-se as lâminas imersas em detergente neutro 10% a 60°C durante uma hora. Posteriormente, foi realizada dupla lavagem com água corrente, seguida de lavagem com água deionizada (DI). Logo após, mergulhou-se as lâminas em tricloroetileno a 45°C por 30 minutos e subsequente lavagem com água DI, por fim as amostras foram imersas em álcool isopropílico a 45°C por 30 minutos e submetidas a lavagem com água DI. Para a remoção de contaminantes orgânicos da superfície do OSR foi usada uma solução de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (ácido sulfúrico 98%p) e de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (peróxido de hidrogênio 30%p), em razão volumétrica 4:1, em temperaturas de 100 a 130°C por 15 minutos, esta solução é comumente denominada solução piranha. Como a superfície da amostra fica fortemente contaminada com resíduos de enxofre provenientes do ácido sulfúrico, foi realizada uma lavagem em água corrente por aproximadamente um minuto e em seguida lavagem com água deionizada. A eficácia da solução piranha na remoção de resíduos orgânicos se deve a remoção do hidrogênio e oxigênio como moléculas de água. Isso ocorre porque a hidratação do ácido sulfúrico concentrado é termodinamicamente bastante favorável [4].



A superfície do vidro foi ativada com uma rápida imersão em solução diluída de HF (ácido fluorídrico) em razão volumétrica de 1:50 durante 30 segundos em temperatura ambiente.

Para a remoção de metais da superfície das lâminas foi utilizada solução de NH<sub>4</sub>OH (hidróxido de amônio), H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O (água deionizada) com uma razão volumétrica de 1:1:5 a 70°C durante 10 minutos, seguida de lavagem com solução de HCl (ácido clorídrico), H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O 1:1:5 a 70°C durante 10 minutos.

Após a limpeza, os OSR's foram colocados na câmara de vácuo, Figura 3A, para a deposição de prata e alumínio em diferentes condições experimentais apresentadas na Tabela 1. A deposição do filme foi realizada por Implantação Iônica por

Imersão em Plasma e Deposição (3IP&D), empregando magnetron *sputtering* e descarga secundária de catodo oco com uma pressão de  $3 \times 10^{-2}$  mbar de argônio, Figura 3B.

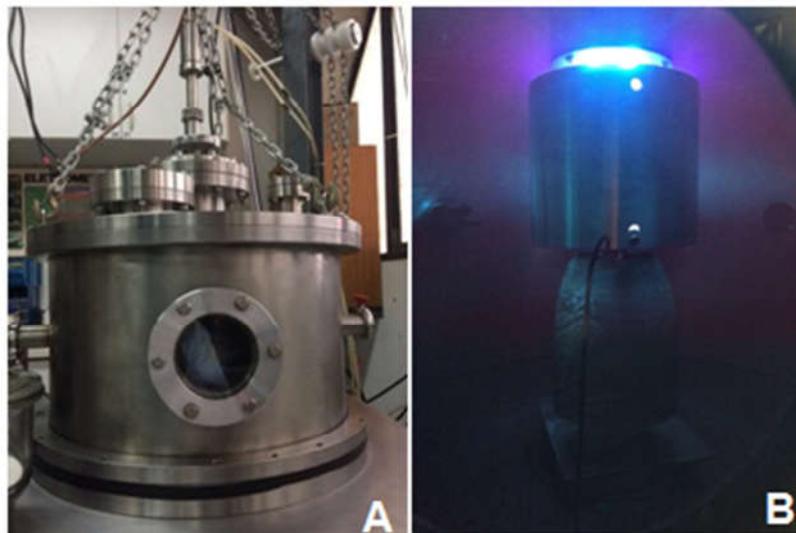


Figura 3 – (A) Câmara de vácuo do sistema 3IP&D do LABAP/COCTE, (B) Interior da câmara durante um experimento.

O tempo de descarga secundária de catodo oco foi implementado nos primeiros 10 minutos do experimento e os outros 50 minutos restantes sem implantação, com total de 60 minutos de deposição. A Tabela 1 mostra as condições de deposição do filme metálico para cada amostra.

Tabela 1 – Amostras com suas respectivas condições de deposição.

Amostra	Alvo	Tempo de deposição (min)	Tempo de implantação e descarga secundária (min)
1	Alumínio	60	-
2	Alumínio	60	10
3	Prata	60	-
4	Prata	60	10

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 4 mostra a fotografia das amostras logo após a deposição dos filmes, ao serem retiradas da câmara, com a superfície do vidro voltada para cima. Observa-se a alta refletividade do filme, mas também manchas no vidro – possivelmente por problemas na limpeza. As propriedades óticas das amostras com filme de prata e alumínio foram avaliadas nos refletômetros para a obtenção dos valores de absorvidade no espectro solar ( $\alpha$ ) e emissividade no espectro infravermelho ( $\epsilon$ ). Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 2.

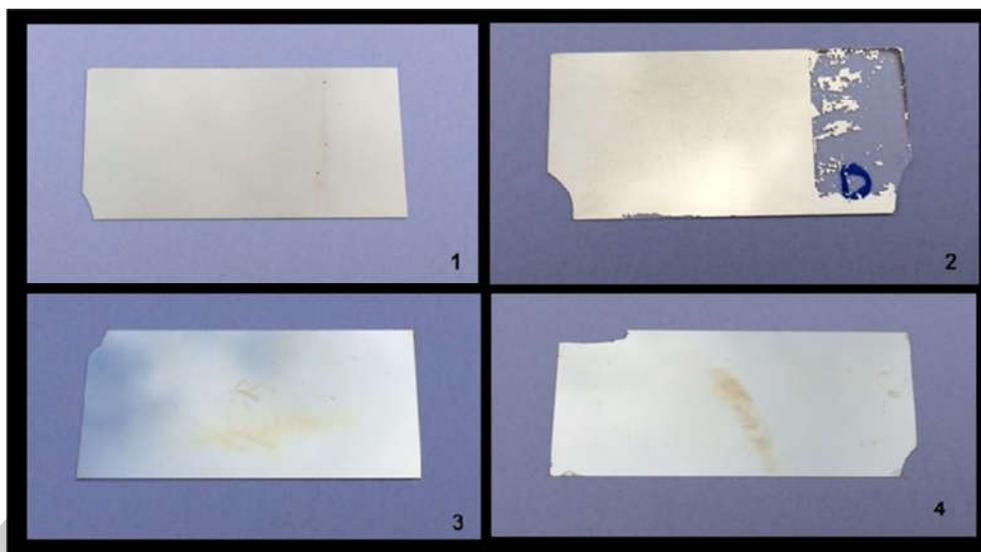


Figura 4 – Fotografia das amostras depositadas de acordo com a numeração da tabela 1.

Tabela 2 – Medidas de absorvidade e emissividade

Amostra	$\alpha$	$\sigma$	$\epsilon$	$\sigma$	$\alpha/\epsilon$
1	0,15	0,01	0,812	0,013	0,18473
2	0,409	0,009	0,819	0,002	0,49939
3	0,057	0,015	0,817	0,007	0,06977
4	0,114	0,08	0,816	0,003	0,13971

Comparando os resultados da relação de  $\alpha/\epsilon$ , a amostra número 3 com deposição de prata sem descarga secundária apresentou o melhor resultado, com  $\alpha/\epsilon = 0,06977$ .

As amostras foram analisadas através da técnica de microscopia eletrônica de varredura (MEV) para verificação das características morfológicas dos revestimentos depositados. As micrografias obtidas são mostradas na Figura 5.

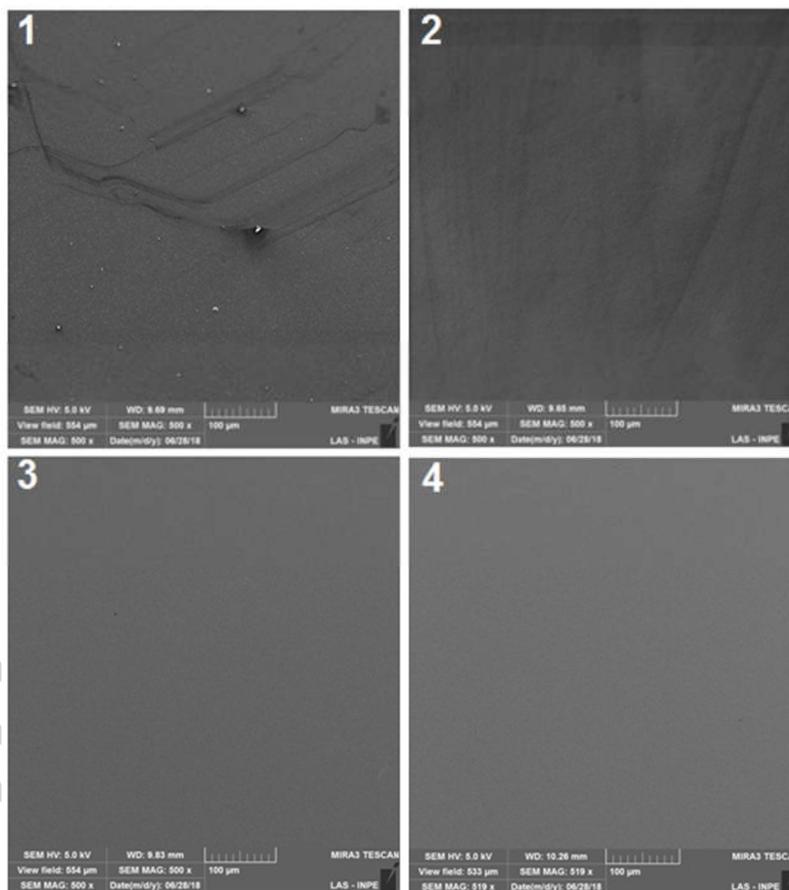


Figura 5 - Imagem de topo das amostras 1 e 2 - Deposição de alumínio, 3 e 4 - Deposição de prata.

Observa-se na imagem geral de topo (ampliação de 500 X) das amostras 1 e 2 que os filmes apresentaram riscos na superfície, enquanto os filmes das imagens 3 e 4 apresentaram mais uniformidade na camada depositada, sem apresentar riscos em sua superfície. Todas as amostras exibem uma estrutura superficial plana e baixa densidade de defeitos superficiais, característica importante para que as propriedades óticas não sejam afetadas.

A Figura 6 mostra a superfície dos filmes com maior ampliação (100 kX) para observar a morfologia dos grãos. Comparando as imagens 1 e 2, com deposição de

alumínio por diferentes processos, a amostra que não foi submetida à descarga secundária (1) tem os grãos mais unidos e semelhantes entre si, enquanto a amostra com descarga secundária (2) tem a forma oposta, possuindo grãos maiores e com diferentes alturas e diâmetros entre si. Comparando as imagens 3 e 4, com depósitos de prata em diferentes condições, notou-se união entre os grãos na amostra 3 e diferenças de altura e de tamanho entre eles, enquanto que a amostra 4 apresentou grãos mais uniformes, com tamanhos semelhantes entre eles. Com isso, observou-se a complexidade das deposições aplicando descarga secundária, uma vez que a morfologia resultante depende do material que está sendo depositado.

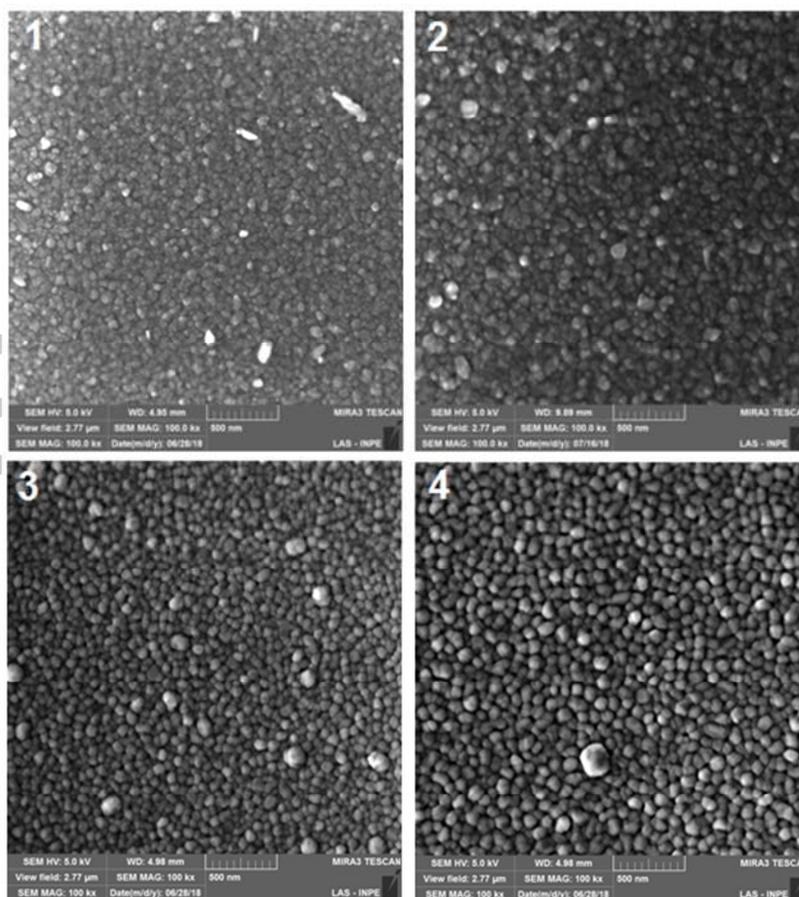


Figura 6 – Contorno de grãos das amostras 1 e 2 - Deposição de alumínio, 3 e 4 - Deposição de prata.

## CONCLUSÕES

Apoio / Support



Realização / Realization



Organização e Promoção /  
Organization and Promotion



CIPA FIERA MILANO

Os resultados obtidos mostram que a deposição de filmes metálicos por 3IP&D com *sputtering*, com ou sem descarga secundária, pode ser aplicada na fabricação de superfícies refletoras como os ORS's. Apesar de apenas a amostra com depósito de prata por *magnetron sputtering* sem descarga secundária ter apresentado um resultado  $\gg 1$ , ainda será estudada a aderência do filme de prata sobre as lâminas de borossilicato com intercamada de alumínio e diferentes processos de limpeza e ativação da superfície do vidro.

### **AGRADECIMENTOS**

Ao CNPq pela concessão da bolsa dentro do Programa de Capacitação Institucional do INPE.

### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- [1] Boato, M. G. "Desenvolvimento de Processo de Fabricação de uma Superfície Óptica Refletora para Radiadores Térmicos de Satélites" Dissertação de Mestrado. ITA (2014).
- [2] Medeiros, F. I. "Deposição de filmes finos de Cr-N e Cr em sistema DC-MS com aplicação de descarga secundária de catodo oco e implantação iônica por imersão em plasma" Dissertação de Mestrado. INPE (2018).
- [3] Moura, J. A. S. "Filmes nanométricos de FeN e AlN crescidos por sputtering e aplicações do efeito peltier" Tese de Doutorado. UFRN (2010).
- [4] Marcondes, A. R.; Mello, C. B. "Procedimento de limpeza de lâminas de silício: Limpeza padrão RCA" Manual, publicação técnica. INPE (2015).