

ESTUDOS SOBRE A FABRICAÇÃO DE RETÍCULOS PARA A CALIBRAÇÃO DE SISTEMAS IMAGEADORES INSTALADOS EM SATÉLITES

J.C.F. Silva; N.A.S. Rodrigues; A.J. Damião*
CTA, Instituto de Estudos Avançados, 12.231-970, São José dos Campos, SP, Brazil

Recebido: 14 de novembro, 2007; Revisado: 19 de março, 2008

Palavras-chave: metrologia, filmes finos, laser ablation.

RESUMO

Num sistema de imageamento aeroembarcado, a qualidade da imagem obtida depende fortemente do correto posicionamento dos componentes ópticos no sistema de imageamento, assim como do posicionamento deste sistema dentro do próprio satélite. Este trabalho apresenta os primeiros estudos do desenvolvimento de retículos para serem instalados em simuladores de cenas portáteis. Estes simuladores serão utilizados na avaliação em laboratório de sistemas de imageamento posicionados em satélites. As dimensões do retículo e a sua frequência de Nyquist (38 lp/mm) foram os desafios deste trabalho. Há separação entre linhas de 25 μm . Foram utilizados substratos de vidro BK7 e filmes finos de alumínio, aço inox e alumínio com ad layer de cromo. Os padrões de linhas foram obtidos por ablação a laser no UV. São apresentadas imagens de protótipos dos retículos, obtidas por microscopia óptica. Foram estabelecidos os limites de ablação do filme e de dano no vidro, indicando os limites de operação do processo, mostrando a sua viabilidade.

ABSTRACT

The quality of images obtained by aero transported imaging systems depends on the correct assembling of the optical components in the optical system as well as the positioning of the optical system in the satellite or airplane. This paper presents the development of optical reticules to be applied on portable scene simulators. These simulators are used to evaluate and check satellite imaging systems before launching. The line dimensions and the Nyquist's frequency (38 lp/mm) were the challenges of this project. There were lines only 25 μm apart. The substrates were BK7 glass and the thin films made of Al and Stainless Steel, using Cr as ad layer. The line patterns were obtained by UV laser ablation. Optical microscope images of the prototypes are presented. The glass damage threshold and ablation threshold of thin film ablation were obtained, showing the process limits and its viability.

1. MOTIVAÇÃO

Sistemas imageadores embarcados em satélites fazem imagens da superfície terrestre a distâncias da ordem de 900 km, com resolução de dezenas de metros e são constituídos de filtros que registram imagens em 4 ou 5 bandas espectrais. Antes de serem lançados, estes sistemas imageadores são submetidos a um conjunto de testes em laboratório, para avaliar o seu desempenho e possibilitar correções e/ou ajustes, caso necessários. Um destes testes é realizado por um equipamento denominado "Simulador de Cena Portátil" [1]. O princípio deste equipamento é fornecer à câmera do satélite a imagem de um retículo, composto de pares de linhas claras e escuras, projetadas por um sistema óptico próprio, que permite a avaliação da resolução óptica do imageador. Um equipamento deste tipo está sendo desenvolvido por empresa nacional [2], para ser utilizado no satélite CBERS. Um dos gargalos do projeto é um retículo que tem especificações técnicas bastante apertadas e não dispõe de um fornecedor nacional. O retículo deve apresentar a frequência de Nyquist [3] no plano focal de 38,5 pares de linhas por mm (lp/mm) e as frequências espaciais a serem amostradas são 1, 1/2, 1/3, 1/4 e 1/5 desta frequência. O desafio é, portanto, fabricar um retículo com um conjunto destas frequências espaciais, que serão amostradas simultaneamente no testes.

2. O PROJETO

O projeto do retículo foi realizado pela empresa Optovac e é apresentado na Figura 1. Trata-se de 5 conjuntos, cada um deles formado por 10 pares de linhas claras e escuras de mesma largura. A largura das linhas de cada conjunto é diferente, variando de 25 μm até 125 μm , em passos de 25 μm . A área do retículo propriamente dito é de 10 mm por 10 mm e deve estar inscrito no centro de um substrato de vidro de 25 mm de diâmetro.

3. A CALIBRAÇÃO

Foi utilizado um padrão de comprimento, marca Leica, para a calibração das dimensões das imagens dos retículos gravados [4]. A dimensão da escala, que é projetada juntamente com a imagem, foi reajustada a cada mudança na escala de ampliação do microscópio. Este redimensionamento é pos-

* damiao@ieav.cta.br

sível, pois há um ajuste independente da projeção da escala, através de um telescópio. A calibração do microscópio é fundamental para garantir que as frequências espaciais do filtro estejam dentro dos valores especificados.

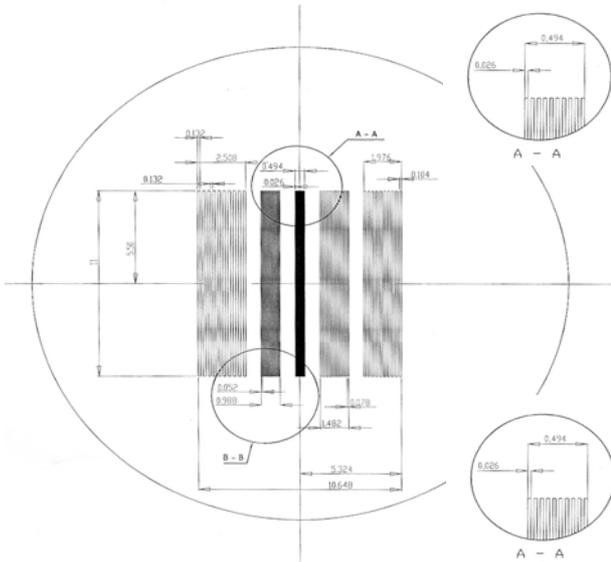


Figura 1 - Projeto do retículo com alguns detalhes em destaque.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Um método tradicional de fabricar este tipo de retículo é utilizar o método de foto-gravação semelhante ao utilizado em placas de circuito impresso e dispositivos de microeletrônica. O método utilizado neste trabalho é o da deposição de um filme fino metálico sobre vidro óptico e da posterior remoção do filme por ablação a laser [5].

O substrato utilizado é vidro BK7, tendo sido depositados diferentes filmes, para se estudar qual o mais adequado. Foi depositado Aço Inox, Cr, Cr + Al e Al. Os filmes foram depositados por canhão de elétrons em uma evaporadora Leybold L-560.

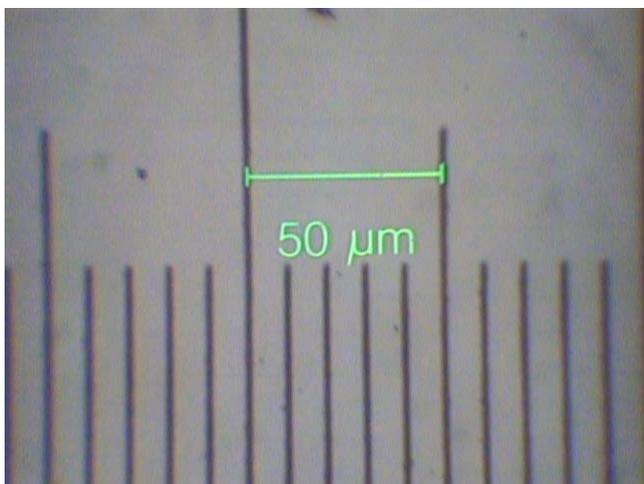


Figura 2 - Imagem da calibração do microscópio, utilizando um padrão de comprimento Leica.

O laser utilizado foi um Nd-YAG com frequência triplicada, Coherent, mod. AviaX, com emissão em 355 nm. A potência média do laser foi variada de 60 mW a 150 mW e a taxa de repetição entre 1 kHz e 40 kHz. A largura de pulso depende da taxa de repetição e da corrente de bombeamento, não sendo, portanto, um parâmetro independente. Neste trabalho, a largura de pulso do laser variou de 9 ns a 12 ns. Um sistema óptico constituído de um espelho a 45° e uma lente convergente de 100 mm de distância focal foi utilizado na focalização do feixe de laser sobre filme. O substrato foi deslocado por uma mesa XY comercial, controlada por computador, para a gravação do retículo.

A profundidade de foco estimada do sistema óptico é da ordem de 1,0 mm. A posição focal foi buscada através da gravação de uma matriz de 6 x 5 pontos para diferentes distâncias da lente ao substrato, como mostrado na Fig. 3. Foram gravados pontos de aproximadamente 50 μm de diâmetro.

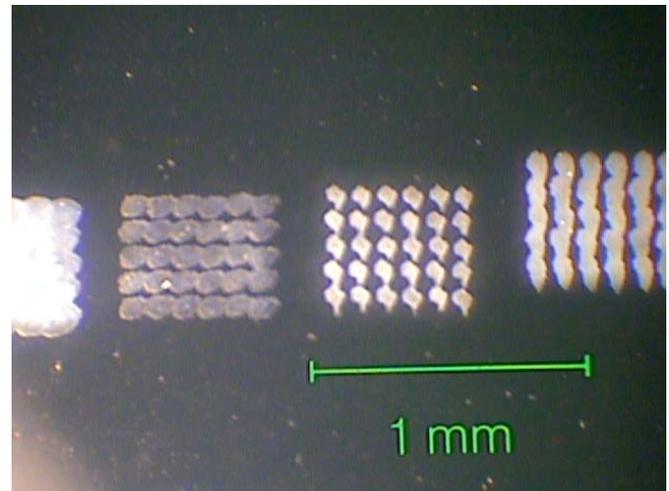


Figura 3 - Gravação de uma matriz de pontos para otimizar a posição do foco do sistema óptico de ablação.

5. PROCEDIMENTO

Há duas maneiras de se remover um filme por ablação a laser: 1) aplicando a luz do laser diretamente no filme; ou 2) aplicando a luz do laser através do substrato de vidro. Ou seja, é necessário saber se o melhor resultado é obtido pela remoção do filme incidindo o laser diretamente da sua interface com o ar ou pela parte posterior, através do vidro.

Os retículos das figuras 4 (laser direto no filme) e 5 (laser através do substrato de vidro) foram obtidos nas mesmas condições experimentais, somente tendo sido compensada a posição da lente focalizadora, devido à espessura do vidro. Pode ser observado que o melhor resultado foi obtido, nestas estas condições experimentais, para o retículo obtido pela remoção direta do filme, pois há menor dano às bordas do filme.

6. DISCUSSÃO

Há vários parâmetros envolvidos no processo de ablação a laser, tais como: largura de pulso, taxa de repetição, potência média, potência de pico, fluência, dentre outros. Pode-se ainda trabalhar no foco ou ligeiramente fora de foco, mantendo-se a mesma fluência. Portanto, há uma grande gama de parâmetros a serem ajustados. Também devem ser consideradas: a natureza do substrato, a natureza e as características dos filmes depositados, tais como a refletividade, tamanho de grão e a adesão do filme ao substrato. Inicialmente, alguns filmes não foram completamente removidos, como pode ser observado na figura 6, provavelmente devido a baixa fluência utilizada.

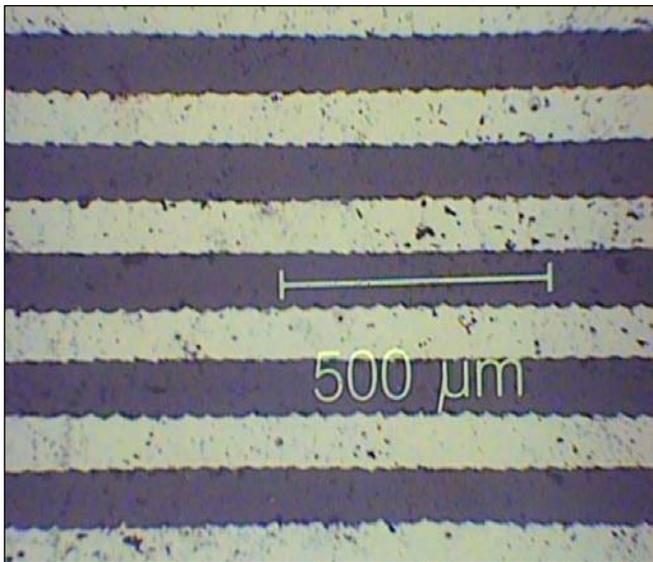


Figura 4 - Reticulo gravado diretamente no filme.

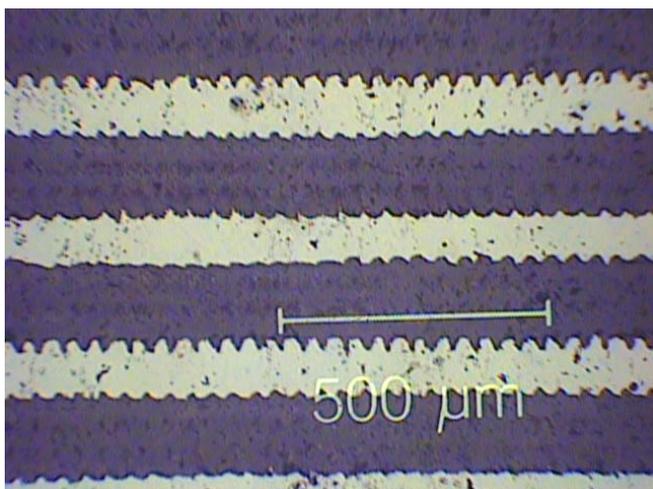


Figura 5 - Reticulo gravado através do vidro

Além da remoção do filme devido à ablação a laser, há também que se considerar efeitos do feixe de laser sobre o substrato de vidro. Embora o vidro seja em princípio transparente à radiação laser, devido às altas intensidades utilizadas, ocorre trincamento, fusão e evaporação do vidro, o que afeta

a propagação da luz através das regiões onde o filme metálico foi removido. As Figuras 7 e 8 mostram as trincas ocorridas devido à excessiva quantidade de energia por área aplicada para a remoção do filme.

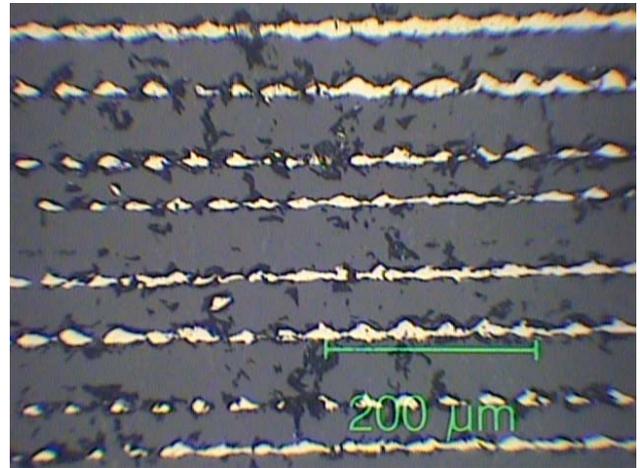


Figura 6 - Remoção irregular do filme.

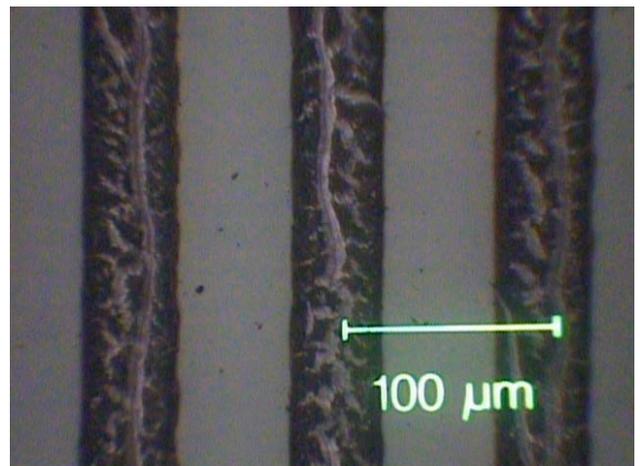


Figura 7 - Substrato de vidro trincado pela aplicação de fluência indevida.



Figura 8 - Detalhe das trincas do substrato.

Variando-se a energia por pulso, a distância da lente focalizadora ao substrato (e conseqüentemente a área iluminada), a taxa de repetição e a velocidade de varredura do feixe de laser, pode-se verificar que é possível remover o filme metálico sem alterar a superfície do vidro, como mostrado nas figuras 4 e 9. Porém, ainda há problemas de instabilidades mecânicas na mesa XY e irregularidades na remoção dos filmes metálicos devido à distribuição de intensidade do feixe de laser (mais intenso no centro, diminuindo nas bordas) que devem ser sanadas e melhor estudadas.

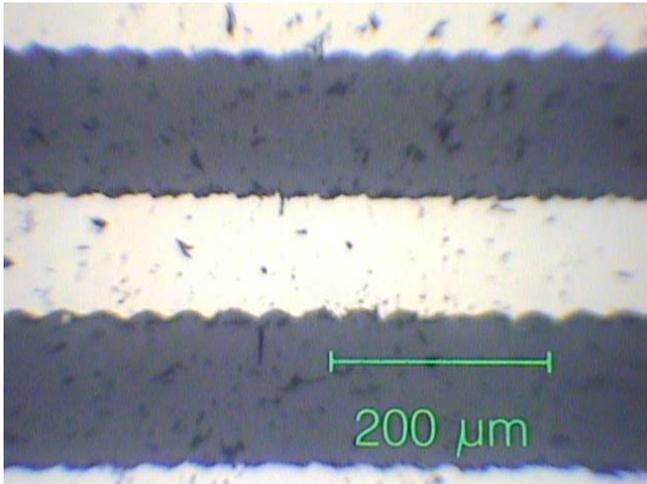


Figura 9 - Retículos com filme melhor removido, mas ainda apresentando bordas irregulares.

7. CONCLUSÃO

Embora os resultados sejam qualitativos, concluiu-se que:

- é possível remover o filme metálico sem danificar o substrato de vidro;
- há um limiar superior de intensidade acima do qual o substrato de vidro é danificado;
- há um limiar inferior de intensidade abaixo do qual o filme não é removido;
- os melhores resultados são obtidos quando se ilumina o filme diretamente com o feixe de laser (em contraposição a iluminar através do substrato de vidro);
- é necessária maior estabilidade mecânica na mesa XY;
- é necessário homogeneizar a distribuição transversal de intensidade do feixe de laser.

Uma mesa XY de melhor estabilidade mecânica será instalada no arranjo experimental e será montado um arranjo óptico para obtenção de um feixe com a distribuição de intensidade mais homogênea. Posteriormente, estudos detalhados de remoção de filme, visando à confecção dos retículos, serão realizados.

REFERÊNCIAS

1. FRIEDL, M.A.; DAVIS, F.W.; MICHAELSEN, J.; MORITZ, M.A., *Remote Sens. Environm.* 54 (1995) 233.
2. www.optovac.com.br.
3. DE GROOT, P.; DECK, L., *Opt. Lett.* 18 (1993) 1462.
4. ZHOU, Y.; J.N., BRADLEY, *Optical Engineering* 38 (1999) 1989.
5. PFLEGING, W.; LUDWIG, A.; SEEMANN, K.; PREU, R.; MÄCKEL, H.; GLUNZ, S.W., *Appl. Surf. Science* 154-155 (2000) 633.