

UM ARRANJO SIMPLES E INSTRUÇÕES PARA PRODUZIR HOLOGRAMAS DE LUZ BRANCA

G. ACKERMANN¹⁾, J. EICHLER¹⁾²⁾, B. LESCHE²⁾ e G. ROSOWSKI³⁾

RESUMO

Um arranjo experimental simples para holografia de feixe único é descrito. Utiliza-se um laser de He-Ne de baixa potência. O objeto é colocado diretamente sobre o filme holográfico horizontal. São fornecidas descrições práticas e detalhadas para se fazer hologramas de luz branca. No processamento do filme usam-se um revelador convencional e banhos de oxidação e redução para obter hologramas de contraste de fase. O arranjo é especialmente adequado a experiências de ensino universitário.

INTRODUÇÃO

Mesmo tendo sido publicados muitos livros sobre holografia prática [1], para o principiante não é fácil construir uma instalação simples e barata para fazer hologramas de qualidade razoável.

Neste trabalho descrevemos um aparato holográfico e um processamento de filmes que precisam um mínimo de instalação e equipamento. O arranjo experimental é especialmente

-
- 1) Technische Fachhochschule Berlin, Physiklabor, Luxemburger Str. 10, D 1000 Berlin 65, Alemanha Federal.
 - 2) Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Física, Ilha do Fundão, Cidade Universitária, Bloco A, Rio de Janeiro - RJ.
 - 3) Holoprint Rosowski, 4174 Issum 1, Lindau 23, Alemanha Federal.

apropriado para experiências de estudantes universitários e para algumas aplicações gráficas. As idéias que apresentamos não são novas, mas a meta é de dar informações práticas e de talhadas que geralmente não são dadas em publicações. Achamos que sem estas "dicas" é difícil e demorado começar a fazer hologramas.

Mencionamos que se pode usar componentes nacionais para a instalação. Apenas o filme holográfico tem que ser importado (de fato com um pouco de esforço também se poderia fabricar o filme).

DESCRIÇÃO DO APARATO

Holografia de um único feixe usa apenas poucos elementos óticos. Correspondentemente o arranjo experimental é estável e barato (fig. 1). O feixe de um laser de He-Ne de poucos miliwatts passa através de uma objetiva de microscópio (40X) produzindo um ponto focal de alguns μm . Como filtro espacial se pode usar um diafragma com diâmetro maior que 5 μm . O diafragma e a objetiva são montados no mesmo suporte. A construção deste suporte e o processo de ajustamento são facilitados quando se aumenta este diâmetro até 40 μm . Para uma objetiva (40X) o ângulo de divergência do feixe expandido é aproximadamente 10° , dependendo do diâmetro do feixe do laser. Então, a uma distância de aproximadamente 1 m do foco, um filme holográfico com uma diagonal de aproximadamente 17 cm pode ser iluminado com suficiente homogeneidade. Devido ao perfil Gaussiano do feixe, o diâmetro visível do feixe expandido tem que ser maior que o filme holográfico.

O sistema holográfico da figura 1 é desenhado para fazer hologramas de objetos pequenos, que podem ser reconstruídos com luz branca. Neste caso as ondas de referência e de objeto tem que incidir no holograma de lados opostos, de tal forma que se formam padrões de interferência cujas superfícies de máxima e mínima intensidade são quase paralelas ao plano do holograma [2]. Na configuração mais simples o objeto é colocado diretamente acima do filme holográfico, o qual

está montado em posição horizontal. Através dum espelho o feixe expandido do laser incide sobre o filme holográfico por baixo. Esta luz é a onda de referência e ao mesmo tempo ilumina o objeto. A luz refletida pelo objeto - a onda de objeto - incide por cima.

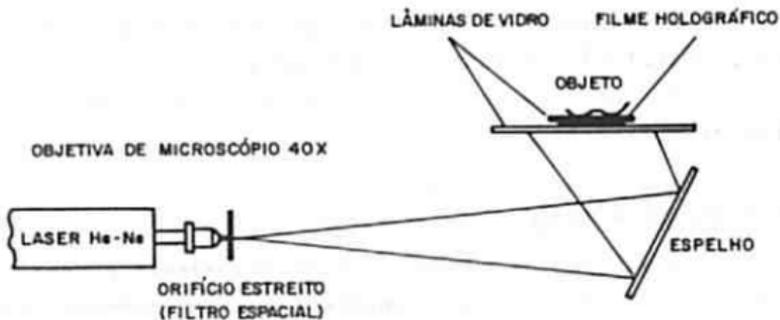


Figura 1 - Um arranjo simples para hologramas de luz branca. O objeto é colocado diretamente sobre o vidro que mantém o filme holográfico numa posição definida.

Como suporte para o filme usa-se um vidro plano que está montado numa mesa. Essa mesa também contém o suporte para o espelho. Põe-se o filme sobre esse vidro com o lado sensível para o objeto. Para fixar o filme no plano horizontal coloca-se um segundo vidro sobre o filme e o objeto é colocado diretamente sobre esse segundo vidro. O feixe do laser ilumina o filme num ângulo de incidência de aproximadamente 30° a 45° , facilitando depois a iluminação do holograma na hora da reconstrução.

A posição horizontal do filme tem vantagens importantes de estabilidade mecânica em comparação com uma montagem vertical. Movimentos entre filme e objeto são minimizados. É extremamente importante esperar pelo menos 3 minutos após a colocação do filme, do segundo vidro e do objeto para expor o filme numa posição de equilíbrio. Movimentos do filme durante a exposição causam áreas escuras na reprodução do holograma. O tempo de espera correspondente para uma montagem vertical pode ser de meia hora. Numa montagem vertical o filme

tem que ser grampeado com pressão entre dois vidros.

Pode-se usar vidros comuns de boa qualidade (cristal). A qualidade dos vidros pode ser testada observando-se efeitos de interferência no feixe expandido do laser. Caso não esteja disponível um espelho de superfície, pode-se usar um espelho comum de boa qualidade ótica. Devido a reflexões nas superfícies dos vidros formam-se linhas de interferência indesejáveis no holograma. Esta perturbação pode ser minimizada de duas maneiras: 1) Escolhendo-se o ângulo de incidência apropriadamente, a densidade destas linhas pode ser tão alta que as linhas são quase invisíveis. 2) O plano de polarização do laser deve ser escolhido tal que minimize as reflexões nos vidros. Para obter hologramas de boa qualidade com o arranjo da figura 1, um laser de luz polarizada é indispensável.

Para a construção do suporte dos vidros e do espelho pode-se usar material de perfil comercial. Para o suporte do laser uma montagem de tipo V é prática (figura 2). Uma vez que a objetiva, o diafragma e o laser foram ajustados, o laser pode ser retirado e posto de novo sem que seja necessário ajustar novamente a ótica do feixe. Desta maneira o laser pode ser utilizado também para outras experiências.

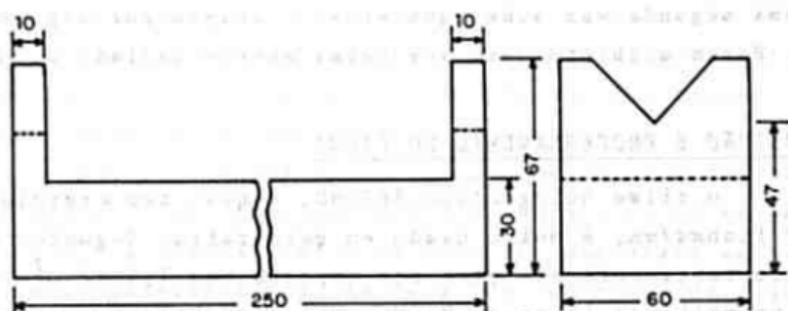


Figura 2 - Suporte do laser.

Devido à simplicidade da construção o sistema holográfico não é muito sensível a vibrações mecânicas. Como base do sistema pode-se usar um bloco de concreto de aproximadamente 100 kg com dimensões apropriadas (por exemplo: 1,5 m x

0,4 m x 0,07 m), que se põe sobre duas câmaras de ar de motocicleta. Tempos de exposição de um minuto ou até mais são admissíveis mesmo em edifícios comuns de vários andares.

O uso de filme sensível no vermelho (por exemplo Agfa 8E75HD) permite o uso de luz verde de baixa intensidade durante a instalação e o processamento do filme. O material Agfa 8E75HD é especialmente insensitivo para luz de 490 nm. Usando lâmpadas de baixa potência é fácil encontrar filtros verdes apropriados. Como interruptor do feixe de laser se pendura um papelão num suporte que não pode ter contato com a base de concreto. Antes e durante a exposição pessoas não devem mover-se no laboratório, para não produzir vibrações e turbulências no ar.

O arranjo da fig. 1 produz hologramas de reflexão de luz branca. Pode-se também - para fins didáticos - produzir hologramas de transmissão que só podem ser reconstruídos com luz do laser. Neste caso o objeto pode ser colocado inclinado apoiado na mesa e no espelho. O objeto deve ser pequeno e o filme deve ficar fora da sombra do objeto.

Pode-se também mostrar interferometria holográfica. Por exemplo, pode-se mostrar a expansão térmica dum objeto aquecido eletricamente (ferro de passar roupa) expondo o filme uma segunda vez após aquecer-se o objeto por alguns segundos. Porém o objeto deve ser termicamente isolado do arranjo.

EXPOSIÇÃO E PROCESSAMENTO DO FILME

O filme holográfico 8E75HD, o qual tem a resolução de 5000 linhas/mm, é muito usado em holografia. Segundo os dados do fabricante ele deve ser exposto com $7,5 \text{ J/cm}^2$ com a luz vermelha do laser de He-Ne. Mas para hologramas de fase obtém-se resultados melhores usando valores maiores. Como exemplo, para um laser de 3mW numa distância de aproximadamente 1,1 m um tempo de exposição de 30 a 60 segundos produz hologramas de contraste de fase razoáveis com um filme de 13 cm x 11 cm.

Deve ser mencionado que o aparato simples da figura 1 não permite ajustar a razão de intensidades dos feixes de referência e de objeto. Conseqüentemente são objetos de refletância alta produzem bons hologramas. Outros objetos devem ser pintados de branco (com color jet).

Como hologramas de contraste de fase dão refletâncias maiores descrevemos aqui um processamento de filme para esse tipo de holograma. Seguindo a meta deste trabalho, escolhemos um método que usa substâncias químicas simples:

1) Como revelador se usa um revelador para papel ou filme (preto-branco), por exemplo Kodak D 19 (80 g em 0,5 l de água). O filme é revelado até uma densidade ótica $D=3$ durante um tempo máximo de 2,5 minutos. Normalmente 1 minuto é suficiente. Tempos maiores aumentam o ruído do holograma. O processo pode ser observado com luz verde. Uma borda nítida tem que aparecer entre regiões expostas e não expostas.

2) Em seguida enxáguase o filme em água corrente durante 5 minutos. Depois luz comum pode ser ligada. Lava-se o filme por 1 minuto em água deionizada (ou destilada).

3) Dissolve-se a prata revelada num banho oxidante até o filme ficar completamente transparente. O tempo no oxidante não deve exceder a 2 minutos. A solução de oxidação é preparada dissolvendo-se 5 g de dicromato de potássio e 5 ml de ácido sulfúrico concentrado em 1 litro de água destilada ou deionizada. Quantidades maiores desta solução podem ser preparadas para uso posterior.

4) Põe-se o filme por dois minutos em água deionizada com uma solução redutora (aproximadamente 20 ml em um litro de água). A solução redutora pode ser preparada em quantidades maiores dissolvendo-se 50 g de sulfito de sódio (sicc.) e 1 g de hidróxido de sódio em 1 litro de água deionizada. A cor entre amarelo e marron do filme fica mais clara.

5) Para dessensibilizar o filme deve-se mergulhá-lo em água por 15 minutos.

6) Para evitar marcas de água o filme é lavado com

álcool ou com água misturada com umas gotas de "Aspergol". Depois seca-se o filme em uma corrente de ar morno (mas não quente).

Durante os passos 1 a 4 mantêm-se os líquidos em movimento leve.

Usando o arranjo da fig. 1 obtêm-se superfícies de interferência quase paralelas ao filme. Correspondentemente, pode-se reproduzir o holograma por meio de reflexão de Bragg com luz branca. Durante o processo de oxidação a espessura da gelatina sensitiva se reduz e as distâncias entre as superfícies de interferência diminuem. Com isso o comprimento de onda de reprodução diminui também e os hologramas ficam verdes.

Hologramas entre amarelo e verde podem ser feitos usando o seguinte revelador: (o revelador consiste de duas componentes)

A) 500 ml de H_2O , 6 g de pirogallol, 6 g de ácido ascórbico (vitamina C);

B) 500 ml de H_2O , 30 g de carbonato de sódio.

Imediatamente antes do processo de revelação as componentes A e B misturam-se na razão 1:1. Para lasers fracos, que precisam tempos de exposição longos, pode-se aplicar um processo de pré-sensibilização: antes da exposição, numa sala escura põe-se o filme por dois minutos em água destilada e seca-se em uma corrente de ar morna. É importante que o secamento acabe completamente antes da exposição. Movimentos do filme devem ser evitados durante o secamento. Pré-sensibilização aumenta a sensibilidade do filme por um fator 2. A sensibilidade pode ser aumentada ainda mais acrescentando-se umas gotas de amoníaco (NH_4OH) no banho de pré-sensibilização.

A reprodução da imagem é feita iluminando-se o holograma com luz branca colimada com o mesmo ângulo de incidência que o feixe de referência do laser. O lado de trás do holograma deve ser negro; para isso forra-se o filme com papel preto (papel crepom dá bons resultados) ou pinta-se com tinta preta (color-jet). A imagem desaparece durante a secagem

da tinta mas reaparece depois. O holograma pode ser mostrado em molduras de quadros com vidro que mantém o filme plano (curvaturas do filme produzem deformações da imagem). Exibe-se o holograma numa sala escura com iluminação por luz colimada (por exemplo com um "spot light"). Lâmpadas foscas não dão bons resultados.

CONCLUSÕES

Com o aparato e o procedimento descrito obtêm-se bons hologramas de reflexão de luz branca depois de otimizar os parâmetros de exposição e revelação. Os custos do sistema são essencialmente determinados pelo laser de He-Ne. Com as informações deste trabalho é fácil construir tal "máquina holográfica" e processar os filmes, para obter hologramas de boa qualidade. Podem-se melhorar os resultados diminuindo-se a altura do suporte de tal forma que o plano do holograma se encontre dentro do feixe expandido e o objeto fique iluminado também pelo feixe direto do laser. Nesse caso podem-se colocar espelhos sobre a mesa para iluminar melhor o objeto. Coloca-se um anteparo estreito em frente do vidro da mesa para evitar iluminação do filme pelo feixe direto.

A instalação e o processamento descritos neste artigo foram realizados na Technische Fachhochschule Berlin e na Universidade Federal do Rio de Janeiro.

AGRADECIMENTOS

Um dos autores (B.L.) agradece ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela ajuda financeira. Agradecemos ao bolsista Daniel Weller pela ajuda essencial na montagem do laboratório de holografia no Instituto de Física da UFRJ.

REFERÊNCIAS

- [1] Caulfield, H.J. ed., Handbook of Optical Holography. Academic Press, New York, 1979.
- [2] Leith, E.N., White-Light Holograms, Scientific American, October 1976, p. 80.