CONSTRUÇÃO DE UM LASER DE N_2 TEA PARA APLICAÇÕES EM MICROELETRÔNICA

A.W.Mól e V.Baranauskas
Faculdade de Engenharia Elétrica - UNICAMP - C.P. 6061 - 13083 - Campinas - SP.

A microeletrônica vem se desenvolvendo com novas tecnologias e a hibridização das antigas com novos conceitos e novos instrumentos. Neste artigo procuramos mostrar as vantagens da fotoreprodução coerente na operação de padrões submicrométricos. Para tanto descrevemos a construção de um laser de N_2 TEA que é a primeira fase de tal trabalho. Foram obtidos picos de ~200 kW, f = 5 pps, facilmente controláveis com Thyratron.

Laser de N_2 TEA FOTOLITOGRAFIA SUBMICRON.

1. INTRODUÇÃO

A miniaturização dos dispositivos é um dos fatores mais importantes para o aumento da complexidade dos circuitos integrados. Existem várias técnicas litográficas para a geração de máscaras ou gravação direta sobre a pastilha de Silício (1-3). A maior parte dos circuitos integrados produzidos atualmente são realizados por processos foto-litográficos. Gera-se um conjunto de máscaras padrão (em tamanho 1x ou foto-reduzidas) e gravam-se as imagens das máscaras sobre a pastilha através de uma fotoresina intermediária. Para a diminuição das distorções devido à difração de Fresnel procura-se utilizar fótons de menor λ possível. Entretanto, conforme pode-se observar na figura 1, as fontes convencionais (lâmpadas de Hg) possuem uma potência relativamente baixa na faixa do UV profundo (linha h) o que pode levar a tempos de exposição relativamente longos. Basicamente

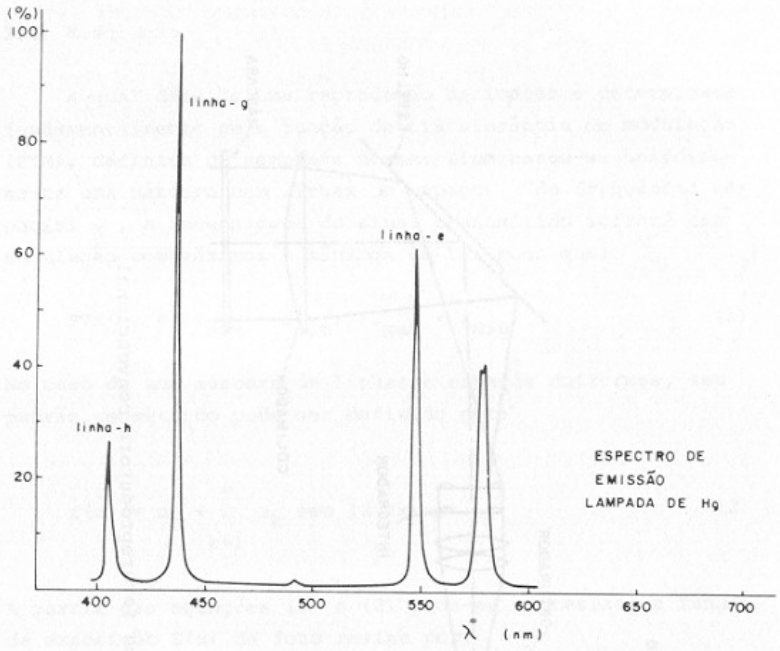

Figura 1 - Espectro das lâmpadas de Hg normalmente utilizadas nas fotoreprodutoras.

uma fotoreprodutora convencional tem o esquema apresentado na figura 2. Grande parte da energia é emitida no IR (e portanto deve ser filtrada para não dilatar termicamente a resina) e outra parcela razoável é perdida na filtragem e colimação. Basicamente estamos trabalhando no sentido de substituir a lâmpada por um laser de U.V. e parte do instrumental que já realizamos é descrita no presente trabalho.

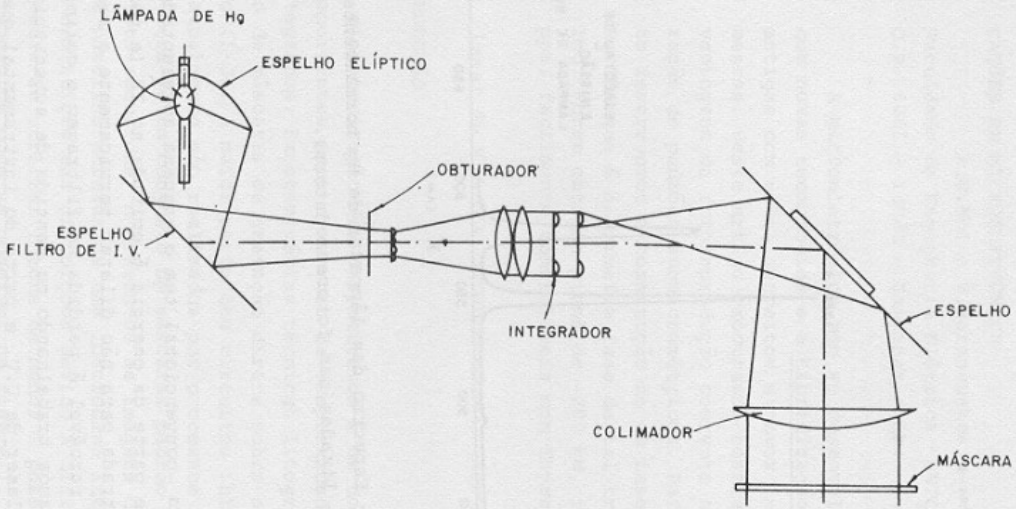

Figura 2 - Esquema básico de uma fotoreprodutora convencional.

2. VANTAGENS DA FOTO-REPRODUÇÃO COERENTE

2.1. Resolução

A qualidade de uma reprodução de imagem é determinada fundamentalmente pela função de transferência de modulação (FTM), definida da seguinte forma: Iluminando-se uniformemente uma máscara com linhas e espaços de frequência espacial ν , a intensidade do sinal transmitido sofrerá uma modulação com máximos e mínimos de tal modo que:

$$FTM(\nu) = (I_{max} - I_{min})/(I_{max} + I_{min}) \qquad (1)$$

No caso de uma máscara de linhas e espaços uniformes, seu padrão geométrico pode ser definido por:

$$f(x) = a_o + \sum_{k=1}^{\infty} a_k \text{ sen } (2\pi k\nu x) \qquad (2)$$

A partir das equações (1) e (2) pode-se sintetizar a função de exposição E(x) da foto resina por:

$$E(x) = \frac{1}{2} E_M \left| 1 + (4/\pi)\ FTM(\nu)\ \text{ sen } (2\pi\nu x) \right| \qquad (3)$$

onde E_M é a exposição (Ixt) que ocorreria sem a presença da máscara. Resolvendo-se a equação (3) para os casos da iluminação incoerente e coerente respectivamente, pode-se obter as seguintes equações, no ponto x = 0:

$$\left(\frac{\Delta L}{L}\right)_i = - \frac{1}{2FTM} \left(\frac{\Delta E_M}{E_M} - \frac{\Delta E_o}{E_o}\right) \qquad (4)$$

$$\left(\frac{\Delta L}{L}\right)_c = - \frac{1}{4\cos\phi} \left(\frac{\Delta E_M}{E_M} - \frac{\Delta E_o}{E_o}\right) \qquad (5)$$

onde $\left(\frac{\Delta L}{L}\right)_i$ e $\left(\frac{\Delta L}{L}\right)_c$ são as variações na largura de linha que ocorrem na iluminação incoerente e coerente, respectivamente, e E_o o limiar de exposição da fotoresina.

Comparando as expressões (4) e (5) pode-se observar que na segunda a FTM foi substituída por cos ϕ que no caso de foco perfeito tem o valor de 1. Além disto, existe uma constante no denominador da equação (5) com o dobro da equação (4), o que implica que, para as mesmas tolerâncias de processo, a reprodução coerente possibilita metade do erro de tolerância da linha que a reprodução incoerente.

2.2. Fotoresinas

A fotoquímica de resinas sensíveis ao ultravioleta é em geral bem compreendida. Existem reações seletivas que provocam mudanças previsíveis na solubilidade das resinas. Por exemplo, o polimetilmetracrilato (vide figura 3) de altíssimo peso molecular, iluminado com fótons de U.V. é induzido via excitação $n \rightarrow \pi^*$, a fragmentar o grupo carbonílico em partes de baixo peso molecular, facilmente solúveis.

2.3. Vantagens e escolha da Fonte de Laser

Além da excelente coerência as fontes de Laser são conhecidíssimas por seu alto brilho. Portanto, além da melhor tolerância da reprodução, o tempo de exposição pode ser bem pequeno.

Na faixa do U.V. e do U.V. profundo há a predominância dos Lasers de Excimer e de Nitrogênio. O Laser de Nitrogênio possue a vantagem de ter uma distribuição espacial mais uniforme e emissão em $\lambda = 0{,}337\ \mu m$, o que está ainda dentro do limiar de transmissão do suporte das máscaras comumente utilizadas.

3. CONSTRUÇÃO DO LASER DE N_2-TEA

3.1. Aspectos Teóricos

FOTORESINA UV

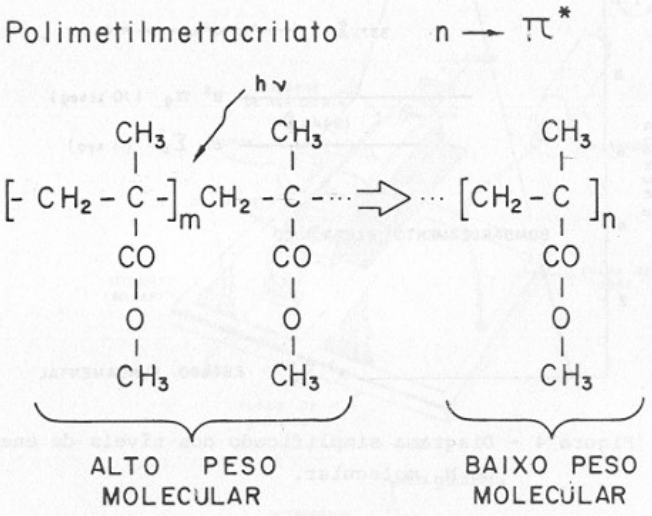

Figura 3 - Mecanismo de foto-decomposição do polimetil metracrilato.

A figura 4 mostra o diagrama simplificado dos níveis de energia do N_2 molecular de maior interesse para a emissão Laser. O mecanismo é basicamente o seguinte: Através de uma excitação (choque com elétrons p.ex.) as moléculas passam do estado fundamental $x^1\Sigma_g^+$ para o nível Laser superior $C^3\pi_u$ e decaem para os níveis inferiores ($B^3\pi g$..., com a emissão de fótons. Como o tempo de vida do nível $C^3\pi_u$ é de apenas 40 ns a excitação deve ser extremamente rápida, pois caso contrário, grande parte da energia só servirá para excitar as moléculas que já decairam ao nível $B^3\pi g$ para desinteressantes níveis superiores.

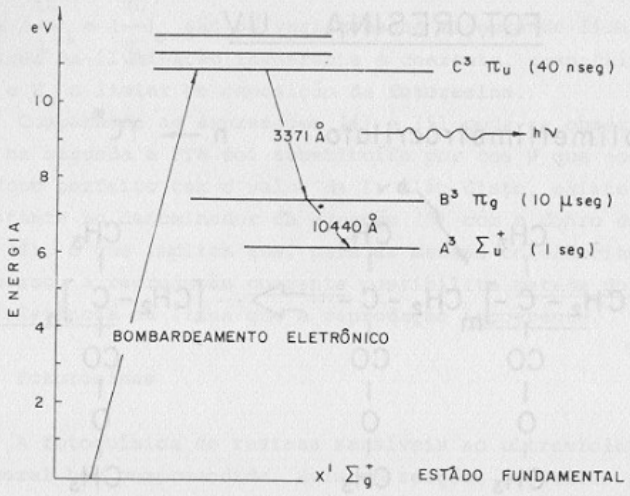

Figura 4 - Diagrama simplificado dos níveis de energia do N_2 molecular.

3.2. Projeto Físico

Várias publicações sobre Lasers de Nitrogênio existem na literatura. (4-6). Tomamos como base o trabalho de Small (6), devido ao fato dela nos possibilitar um feixe retangular, mais facilmente adaptável à reprodução das máscaras. Foram incorporadas algumas modificações que aumentaram substancialmente a eficiência e a segurança de manuseio do Laser. A vista simplificada do conjunto é apresentada na figura 5.

Para se conseguir a forte inversão recorre-se ao mecanismo inventado por Blunlein. Duas placas metálicas adjacentes são isoladas com um dielétrico de uma placa comum, formando dois capacitores independentes. As placas superiores são interconectadas por uma bobina de baixa indutância (L = = 3μH), de modo que aplicando-se um potencial DC a uma das placas, ambas ficam carregadas e nenhuma diferença de potencial existe no espaço que as separam. Tal espaço é a pró-

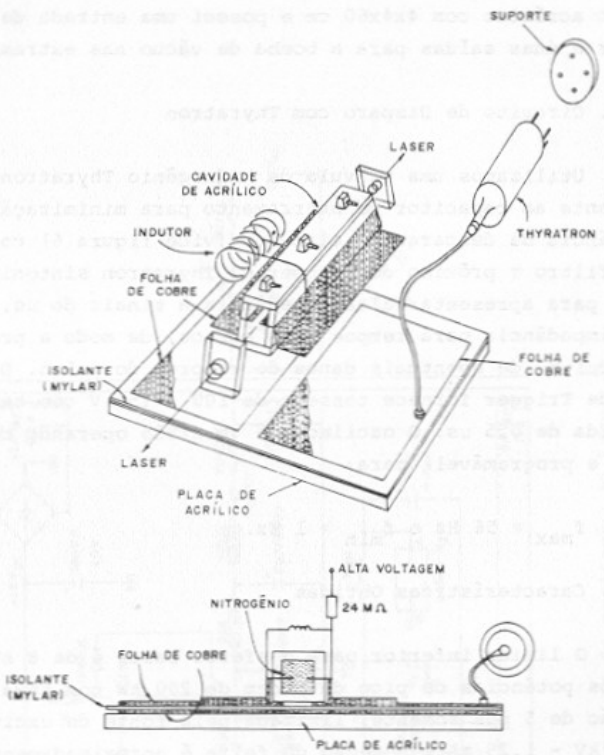

Figura 5 - Desenho mecânico do Laser de N_2.

pria cavidade do Laser, sendo preenchida com N_2. Com a descarga de um dos capacitores pela thyratron dentro da cavidade aparecerá o dobro da tensão de carregamento o que, dependendo da pressão do N_2, pode ser suficiente para a formação do plasma. Neste caso a indutância da bobina fornece um isolamento em relação a troca de corrente pelas placas superiores. Os capacitores foram construídos com películas de cobre com dimensões de 30x60x0,05 cm e como dielétrico foram utilizadas folhas de Mylar, com um total de 0,032 cm de espaçamento, sendo que excedem as películas de cobre em 2 cm de marçem para prevenção de descargas laterais. A cavidade

é de acrílico com 4x4x60 cm e possui uma entrada de N_2 superior e duas saídas para a bomba de vácuo nas extremidades.

3.3. Circuito de Disparo com Thyratron

Utilizamos uma válvula de hidrogênio Thyratron 5C22 adjacente ao capacitor de aterramento para minimização da indutância de descarga. O circuito (vide figura 6) consta de um filtro π próximo do trigger da Thyratron sintonizado em MHz para apresentar alta impedância a sinais de μs, mas baixa impedância para tempos mais curtos, de modo a proteger o circuito de eventuais danos de retorno do pulso. O circuito de Trigger fornece tensões de 100 a 150 V com tempo de subida de 0,5 μs. O oscilador é um CI555 operando como astavel e programável para:

$f_{max} \cong 56$ Hz e $f_{min} \cong 1$ Hz.

3.4. Características Obtidas

O limiar inferior para o efeito Laser é de 8 kV. Obtivemos potências de pico da ordem de 200 kW com taxa de repetição de 5 pps somente, limitada pela fonte de excitação (30 kV - 1,25 mA). A seção do feixe é aproximadamente retangular com 1x0,3 cm na saída.

4. CONCLUSÕES

O Laser construído possui as características básicas para a continuação do trabalho de litografia sub-micron. Devemos agora otimizá-lo em função das necessidades do processo de fotogravação. O protótipo se encontra disponível para a reprodução por pesquisadores interessados nesta ou em outras aplicações.

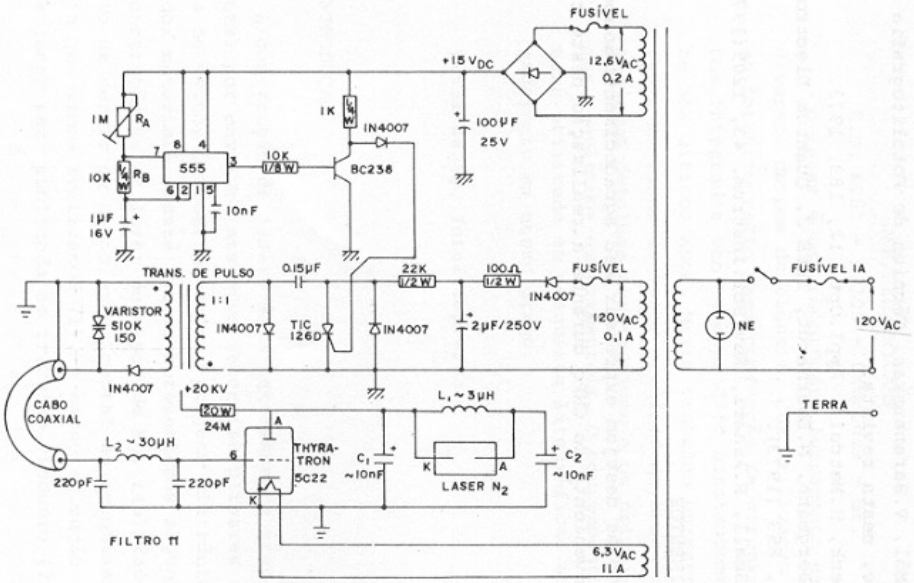

Figura 6 - Circuito de excitação do Laser de N_2.

5. BIBLIOGRAFIA

| 1| V.Baranauskas. Simp.Apl.Rad.Sincrotron CBPF 1983.

| 2| V.Baranauskas. Mat.Res.Meet.Boston 1983.

| 3| A.W.Mól, V.Baranauskas, Técnica de Fotolitografia coerente, nesta revista.

| 4| P.Shenk, H.Metcalf, Appl.Opt. 12, 183, 1973.

| 5| E.E.Bergmann, N.Eberhardt, IEEE J. Quantum Electron. QE-9, 853 (1973).

| 6| J.G.Small, R.Ashari, Rev.Sci.Instrum. 43, 1205(1972).

6. AGRADECIMENTOS

Os autores desejam expressar seu agradecimento ao apoio parcial proveniente do CNPq durante a realização deste trabalho.