

### TÉCNICA DE FOTOLITOGRAFIA COERENTE

A.W.Mól, G.P.Thim, S.Kobayashi, F.R.Clayton,  
V.Baranauskas

Faculdade de Engenharia Elétrica - UNICAMP,  
C.P. 6061 - 13083 - Campinas - SP.

A colimação da radiação Laser permite a obtenção de finos feixes de fótons, o que torna esta radiação extremamente atrativa para a confecção de máscaras em microeletrônica. Neste trabalho desenvolvemos uma nova técnica de gravação utilizando também as propriedades de coerência de fase e alto brilho. Obtivemos linhas com largura média de  $0,65 \mu\text{m}$  e uma resolução  $\sqrt{2}$  vezes maior que o processo convencional, o que permite a confecção de máscaras 2 vezes mais densas.

#### Fotomáscaras, Luz Coerente

#### 1. INTRODUÇÃO

Litografia é a arte empregada para a definição de padrões geométricos em superfícies ou filmes finos. Com o advento da tecnologia planar que se utiliza da fotolitografia (litografia com fótons) para definição das dimensões dos componentes, essa técnica teve grande desenvolvimento e se tornou fundamental para a viabilização dos circuitos integrados. O processo básico é resumido na figura 1a (1). Através de uma máscara (I) com regiões claras e escuras faz-se a sensibilização de uma película fotosensível (II) depositada sobre uma lâmina de Silício oxidada (III). Executa-se a remoção seletiva da película não iluminada, da região do óxido sob esta camada, e finalmente toda a remoção da película, ficando somente uma estrutura de Silício e  $\text{SiO}_2$  com janelas abertas no óxido. Através destas janelas introduz-se impure-

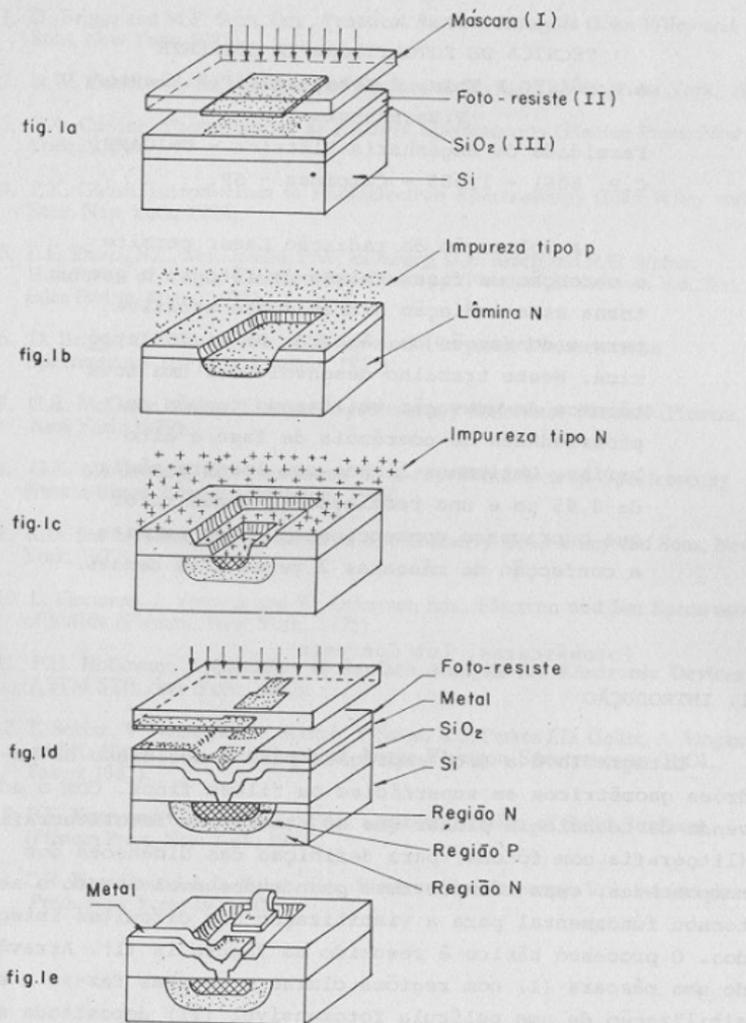


Figura 1 - Esquema simplificado da tecnologia planar.

zas por difusão ou implantação de íons, criando regiões tipo P, figura 1b, ou tipo N, figura 1c. Finalmente, abrem-se janelas para contatos elétricos; deposita-se um filme condutor, figura 1d, e através de uma nova máscara fotolitográfica faz-se a separação dos contatos, obtendo-se o circuito integrado completo, figura 1e. Assim, o processo de construção de circuitos integrados pela tecnologia planar (utilizada até hoje) emprega várias etapas fotolitográficas e o projeto de um circuito integrado é, em grande parte, um problema geométrico de definição das dimensões. A redução do tamanho linear por um fator K induz um aumento de densidade de componentes  $K^2$ , um aumento de velocidade de  $-K^2$ , um aumento de confiabilidade de  $-K^2$  e uma diminuição de custos de  $-K^2$ .

Uma vez definida a geometria do circuito integrado, é necessária a transformação do desenho em um conjunto de máscaras precisas. Estas máscaras podem ser obtidas por fotoredução ou por técnicas de feixe com elétrons, íons ou fótons.

## 2. FOTOGRAVAÇÃO POR FEIXE COERENTE

As técnicas comuns de gravação por feixe de Laser utilizam basicamente sua propriedade de excelente colimação espacial. Neste trabalho procuramos explorar também suas propriedades de alto brilho e coerência temporal, para, com fenômenos não lineares, incrementar a resolução do processo.

No processo convencional escolhe-se uma fotoresina com energia de transição menor que a energia dos fótons incidentes, para que estes possam ser absorvidos para promoção da transformação química, conforme ilustrado na figura 2a.

Em nossa técnica fazemos exatamente o contrário, ou seja, escolhemos uma fotoresina com energia de transição maior que a energia dos fótons incidentes. Em princípio, como a fotoresina é transparente aos fótons não deveria haver sensibilização. Entretanto, se a radiação for coerente, assim como nos semicondutores (2), pode haver processos cooperativos entre dois ou mais fótons, para promoção da transição, conforme ilustrado na figura 2b.

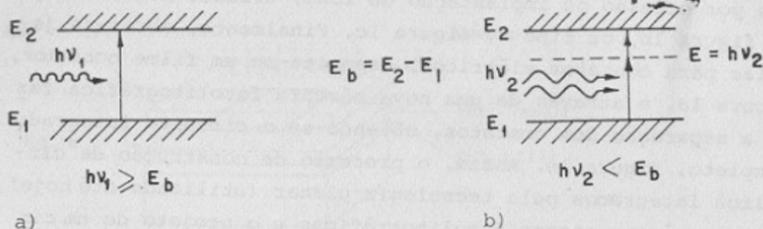


Figura 2 - a) Diagrama de energia de absorção a um fóton.

b) Diagrama de energia de absorção a dois fótons.

### 3. CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DA RADIAÇÃO DE UM LASER DE He-Ne

No modo de ressonância  $TEM_{00}$  a distribuição espacial da energia emitida pode ser descrita pela função de distribuição de Gauss:

$$I(x) = \frac{1}{2a\sqrt{\pi}} e^{-x^2/4a^2} \quad (I)$$

Pode-se definir como raio do feixe ( $r$ ) o ponto  $x$  em que a radiação cai para metade da potência máxima ( $x = 0$ ). Portanto, através da equação (I) pode-se determinar:

$$r = 1,18a \quad (II)$$

O raio emitido pode ser comprimido através de um sistema óptico. Neste caso, o raio na imagem ( $r_1$ ) pode ser calculado por (3):

$$r_1 = f \cdot \lambda \pi^{-1} r^{-2} \left| 1 + f \lambda \pi^{-1} r^{-2} \right|^{-2} \quad (III)$$

onde  $f$  é o foco efetivo do sistema.

#### 4. MONTAGEM EXPERIMENTAL

Empregamos um Laser de He-Ne-0,5 mW acoplado a um microscópio óptico de alta qualidade (Apophot Nikon) de tal forma que pudéssemos verificar "in loco" a fotografação. A potência do Laser foi controlada com filtros neutros de densidade óptica conhecida. A placa de alta resolução (HPR-Kodak) foi colocada no foco do sistema com fotoresina em sua superfície. O movimento x-y foi realizado com motores de passo (SM 1,8° SINGER) controlados através de um microcomputador (APII-UNITRON). A curva de sensibilidade da fotoresina está apresentada na figura 3. Como pode-se notar  $\lambda_{lim} = 575nm$  ou  $E_b = 2,16 eV$  e portanto é impossível a sua sensibilização por apenas um fóton de  $\lambda = 632,8nm$  ( $h\nu = 1,96 eV$ ), que é a frequência da radiação do Laser de He-Ne. Foi utilizado um comprimento focal efetivo de 1,95 mm.

#### 5. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Conforme pode-se observar na microfotografia (x250) apresentada na figura 4, obtivemos tipicamente linhas de largura média de  $0,65 \mu m$  com ótimo contraste, com uma exposição de  $5,5 \mu s$  e velocidade de varredura de  $118 \mu m/s$ . As manchas escuras referem-se ao excessivo tempo de exposição no início da fotografação pelo feixe.

#### 6. DISCUSSÃO

As linhas obtidas apresentaram tipicamente larguras de  $0,65 \mu m$ , que devem corresponder a um raio de imagem de  $0,32 \mu m$ . Entretanto, com base na equação III e na óptica utilizada, o raio previsto na imagem deve ser:

$$r_i = 0,46 \mu m \quad (IV)$$

e portanto  $r_i > 0,32 \mu m!!$  Estes dados podem ser facilmente explicados se lembrarmos que o mecanismo de absorção a dois ou mais fótons não é linear e deste modo, o perfil de absor-

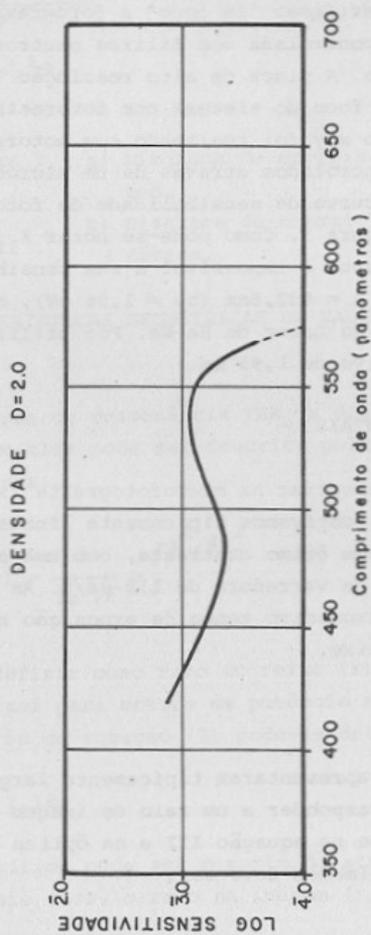


Figura 3 - Curva de sensibilidade espectral da fotoresina.

ção ( $\varphi_a(x)$ ) deve ser necessariamente diferente do perfil de iluminação ( $\varphi(x)$ ).

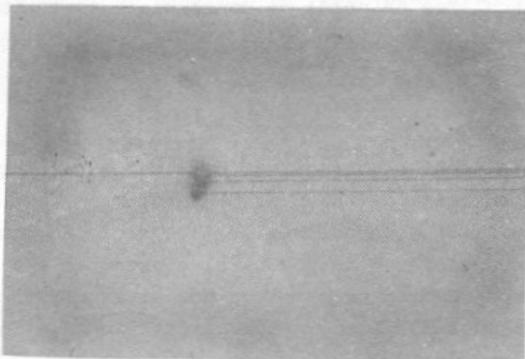


Figura 4 - Microfotografia das linhas geradas pela técnica de fotolitografia coerente. (Aumento: x250).

Podemos explicitar esta não linearidade escrevendo:

$$\varphi_a(x) = \varphi^n(x) \quad (\text{V})$$

substituindo  $\varphi(x)$  pela gaussiana da equação (I) e com base nos dados experimentais, podemos concluir que:

$$n = 2 \quad (\text{VI})$$

Portanto:

$$\varphi_a(x) = \varphi^2(x) \quad (\text{VII})$$

ou seja:

$$r_{ai} = \frac{r_i}{\sqrt{2}} \quad (\text{VIII})$$

O raio de absorção na fotoresina ( $r_{ai}$ ) é  $2^{-1/2}$  do raio da imagem.

Outro aspecto importante é que não se notam os anéis de Newton ou outras figuras de interferência devido à reflexão do Laser no filme. O motivo deste fenômeno é que, nas reflexões não especulares há perda de coerência e portanto é menor a probabilidade de absorção pela fotorresina.

## 7. CONCLUSÕES

Com esta técnica conseguimos aumentar a resolução da fotogração com feixe de laser de um fator  $k = \sqrt{2}$ , o que permite duplicar ( $\times 2$ ) a capacidade de integração de componentes em uma mesma máscara. O baixo custo, a precisão e a resolução alcançados mostram-na como uma boa alternativa para a confecção de máscaras litográficas para circuitos integrados ou dispositivos ópticos.

## 8. AGRADECIMENTOS

Os autores desejam expressar seu agradecimento à UNITRON COMPUTADORES e à SINGER DO BRASIL, e ao apoio parcial proveniente do CNPq e da FAPESP durante a realização deste trabalho.

## 9. REFERÊNCIAS

- | 1 | "A Evolução da Litografia em Microeletrônica". V. Barauskas; Anais do Encontro "Técnicas e Aplicações da Radiação Síncrotron; Rio de Janeiro; 1 a 3 de agosto de 1983; CBPF/PRS.
- | 2 | "Optical Processes in Semiconductors". Jacques I. Pankove, 1971, (Prentice-Hall, Inc.) pag. 268.
- | 3 | "Introduction to Optical Electronics". A. Yariv, 1976, (Holt, Rinehart and Winston).