7. LIFT-OFF (última atualização 2015)

Autora: Dra Mariana Pojar Prof. Resp.: Antonio Carlos Seabra

Lift-off é um dos métodos de transferência de estruturas para a amostra tendo sua principal aplicação na confecção de contatos metálicos. O emprego dessa técnica também se torna crucial quando o processo litográfico requer a transferência de filmes finos de metais duros que são extremamente difíceis de serem removidos por processos de etching (tanto por métodos físicos como químicos). Como exemplo de um material como esse tem-se a platina. O processo de lift-off caracteriza-se basicamente pela inicial produção de uma estrutura por e-beam (exposição/revelação) em um sistema de resistes positivos (que pode ser composto por uma única, duas ou três camadas bem como num sistema multilayer etc) colocado sobre um substrato. Em seguida, realiza-se uma etapa de deposição de um filme fino sobre todo o substrato do material desejado por sputtering ou por evaporação. Após a etapa de deposição é feita a remoção do resiste mediante a imersão da amostra em solventes aquecidos adequados durante um determinado tempo. Entre os solventes mais utilizados temos o SU8 remover, NMP e acetona. Ao remover a amostra do solvente esta é passada em IPA e secada com N2.

Uma das limitações desta técnica está na produção de estruturas sub-micrométricas com a superfície dos objetos totalmente planas. O que se verifica na prática é que a parte central do objeto litografado fica mais espessa enquanto que as bordas ficam mais finas. A existência da parede lateral do resiste acaba formado uma "sombra" durante a deposição do filme fino que impede a deposição homogênea (de mesma espessura) ao longo de toda a estrutura litografada. Em geral, aconselha-se a utilização da técnica de transferência por corrosão (etching) se este for objetivo a ser alcançado.

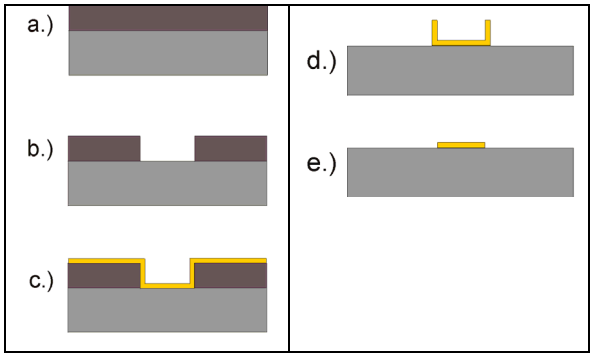

Figura 1: Etapas litográficas de um processo de lift-off simples.

Para a completa viabilidade deste método de transferência alguns cuidados são necessários. Um deles é que o material depositado tenha uma boa adesão química e mecânica ao substrato. Essa necessidade vem do fato do ponto crítico deste processo estar no descolamento do material depositado na etapa de remoção do resiste. Para a obtenção de um processo de lift-off "limpo", o resiste empregado deve ter uma espessura maior do que a camada de filme fino depositada, tipicamente 1,2-1,3 vezes maior. Aconselha-se também realizar a etapa de remoção do resiste após a conclusão da etapa de deposição do filme fino evitando uma possível modificação nas propriedades do resiste utilizado.

Na prática existem dois tipos de lift-off que podem ser empregados dependendo do objetivo a ser alcançado. A principal diferença entre eles está no número de camadas de resistes empregados no processo. O primeiro processo está esquematizado na Figura 1 e é caracterizado pela utilização de uma única camada de resiste (single layer). Apesar de ser o método mais simples, ele em geral não é muito utilizado devido algumas desvantagem encontradas ao longo do seu processo. O problema reside no fato da deposição do material acontecer também na parede lateral do resiste e permanecer após a etapa de remoção do resiste conforme mostrado na Figura 1.c e 1.d. Essa parede lateral pode descascar em processos posteriores interferindo no resultado final das estruturas (Figura 1.e).

O segundo processo possível de lif-off está esquematizado na Figura 2 e é caracterizado pela utilização de duas camadas de resiste. A camada superior é composta por um resiste de alta resolução sensível ao feixe de elétrons que define a resolução das estruturas. Nela, as etapas de litografia seguem um procedimento padrão de exposição/revelação. Já a camada inferior é composta por um resiste que, em geral, não é sensível

ao feixe de elétrons. A sua abertura é obtida pela simples revelação de seu resiste. Quanto maior for o tempo de revelação maior será a abertura formada na camada debaixo sendo primordial o controle desse processo dependendo do objetivo a ser alcançado. Conseqüentemente, tem-se a formação de uma abertura em formato T invertido (undercut) evidenciado na Figura 3. O undercut permite a deposição do material desejado sem que este encoste na parede lateral do resiste. Além disso, facilita a entrada do solvente na camada inferior de resiste durante a etapa de lift-off. A confecção de nanoestruturas requer um controle preciso na etapa de formação do undercut que por sua vez é influenciado por várias etapas do processo de litografia: espessura do resiste, temperatura do pré-baking, tamanho da estrutura definida na camada superior de PMMA, o solvente utilizado bem como a sua diluição, o tempo de revelação, etc.

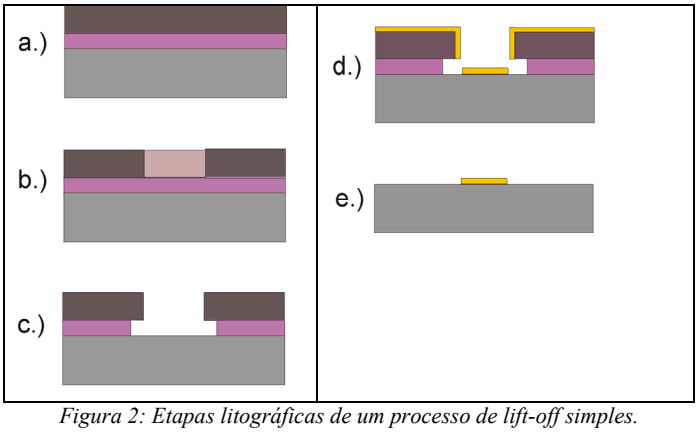

Figura 2: Etapas litográficas de um processo de lift-off simples.

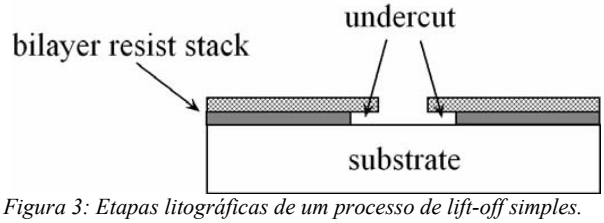

Figura 3: Etapas litográficas de um processo de lift-off simples.

Nas Figuras 4 e 5 abaixo exemplificam-se bem a dependência do tamanho da abertura definida na camada superior e da diluição do solvente no tamanho do undercut, respectivamente. Conforme observa-se na Figura 5.c., o processo de revelação do resiste debaixo tem que estar otimizado garantindo a total remoção desse, caso contrário o processo de lift-off falhará.

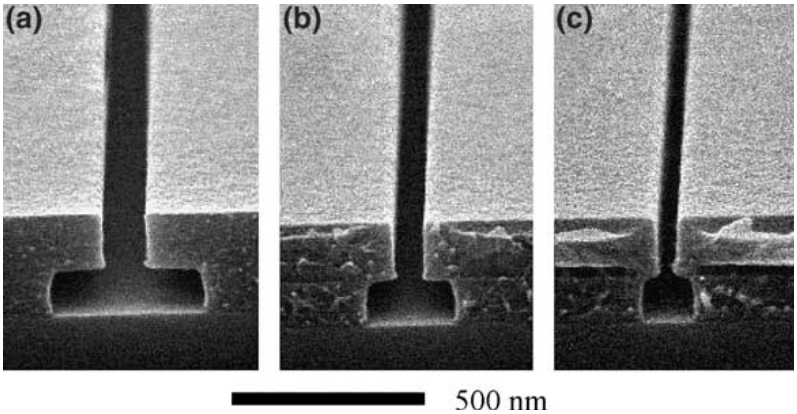

Figura 3: Dependência do tamanho da abertura definida na camada superior no tamanho do undercut. Quanto maior for o tamanho da abertura maior será o tamanho do undercut. [Tirado de CHEN

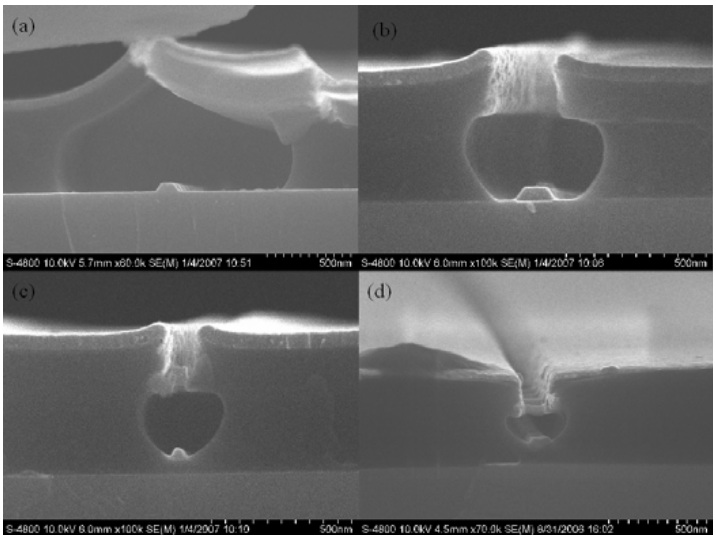

Figura 4: Dependência da concentração do solvente do solvente no tamanho do undercut para um sistema ZEP520/LOR. Na figura 4.a o solvente estava concentrado e na Figura 4.c o solvente estava diluído em 40% onde se verifica que a camada inferior não foi removida completamente. [Tirado de TU]

Sistemas bilayers e trilayers

Os sistemas bilayers mais extensamente usados são compostos pelos resistes PMMA/PMMA-MMA [1,2] e ZEP520/PPMA [3,4]. Porém, para aplicações com dimensões menores que 100nm eles apresentam limitações. Isso ocorre devido ao fato do undercut não ficar bem definido nesta escala de resolução. Historicamente para contornar essa limitação passou-se a usar o sistema PMMA/LOR (PMGI), no qual o resiste da camada inferior foi desenvolvido exclusivamente para processos de lift-off (LOR – lift-off resist). Este resiste é baseado em plataforma de polymethylglutarimide (PMGI) sendo inerte à maior parte dos solventes orgânicos e solúvel em bases alcalinas (após ser tratado à temperaturas acima de 189°C). Outra característica importante é que ele não é sensível a exposição por feixe de elétrons. No trabalho desenvolvido por Chen foi realizado um estudo detalhado do controle do undercut length no sistema PMMA/LOR em função do comprimento da linha aberta no PMMA, da diluição do solvente, da temperatura do baking, etc. Utilizando esse sistema, Chen fabricou pequenas constrições de 20-30nm para dispositivos de spintronic [5,6]. Com o intuito de otimizar ainda mais o processo de lift-off investigou-se a utilização do resiste ZEP520 ao invés do PMMA como top layer para o sistema ZEP/LOR devido à sua alta resolução e alta sensibilidade[C]. Com a utilização desse sistema Tu et al. [7] fabricou linhas de Cr menores do que 70nm.

Na literatura, encontra-se também um sistema bilayer diferente do convencional composto pelos resistes HSQ/PMMA cujo processo é conhecido como negative tone lift-off [8-10]. O principal objetivo desse processo é evitar longos tempos de exposição necessários em processos com positive tone lift-off. Nesse processo é combinado a alta resolução do HSQ e a boa qualidade de lift-off do PMMA. Inicialmente as estruturas são definidas na camada superior do HSQ por e-beam e posteriormente transferidas para a camada inferior de PMMA por plasma reativo de oxigênio (RIE). Com esse sistema foi obtida uma grade de linhas de 50nm espaçadas de 200nm.

Já para sistemas com três camadas (trilayers systems), é comum encontrar trabalhos que utilizam materiais dielétricos como sendo uma das camadas que compõe o sistema, geralmente a intermediária. Tal processo, bem como outros alternativos garantem excelente controle de processo em cada etapa intermediária. Comumente as camadas superiores e inferiores são compostas pelo resiste PMMA. Na camada superior é definida por feixe de elétrons a estrutura. Depois da revelação da parte exposta do PMMA, a parte não protegida do material dielétrico é removido por plasma etching. A transferência final para a camada inferior de resistes também é realizada por plasma etching [11]. Entretanto, há trabalho desenvolvidos que fabricam nanodispositivos sem uma camada dielétrica intermediária. Nesse sentido, Kim et al. [12] demonstrou a fabricação de uma estrutura em formato em T com a base medindo mediante o uso dos resistes positivos ZEP520/ PMMA-MMA/PMMA.

Referências:

[1] PARK Y. D., CABALLERO J.A., CABBIBO A., CHILDRESS J.R., HUDSPETH H.D., SCHULTZ T.J., SHARIFI F., *Fabrication of nanometer-sized magnetic structure using e-beam patterned deposition masks,* **J. Appl. Phys.** 81(1997), 4717.

[2] ISHII T., NOZAWA H., TAMAMURA T., *Nanocomposite resist system,* **Appl. Phys. Let.** 70(1997), 1110.

[3] LIHUA, A., ZHENG Y., LI K., LUO P., WU Y., *Nanometer metal line fabrication using a ZEP520/50 k PMMA bilayer resist by e-beam lithography* **J. Vac. Sci Technol.** 23(4) jul/aug 2005.

[4] MAXIMOV I., SARWE E.L., BECK M., DEPPERT K., GRACZYK M., MAGNUSSON M.H., MONTELIUS L., **Microelectronic Engineering** 61-62 (2002), 449.

[5] CHEN Y., PENG K., CUI Z., *A lift-off process for high resolution patterns using PMMA/LOR resist stack,* **Microelectronic Engineering** 73-74 (2004), 278-281.

[6] CHEN Y., LU Z., WANG X., CUI Z., PAN G., et al., *Fabrication of ferromagnetic nanoconsrictions by electron beam lithography using LOR/PMMA bilayer technique,* **Microelectronic Engineering** 84 (2007), 1499-1502.

[7] TU D., LIU M., SHANG L., XIE C., ZHU X., *A ZEP520-LOR Bilayer Lift-off Process by e-beam lithography for nanometer pattern Transfer*, **Proceedings of the 7th IEEE- International Conference on Nanotechnology** 2007.

[8] YANG H., JIN A., LUO Q., LI J., GU C., CUI Z., *Electron beam lithography of HSQ/PMMA bilayer resists for negative tone lift-off,* **Microelectronic Engineering** 85 (2008), 814-817.

[9] ARNAL T., SOULIMANE R., AASSIME A., BIBES M., LECOEUR Ph., et al. *Magnetic nanowires patterned in the $La_{2/3}Sr_{1/3}MnO_3$ half-metal,* **Microelectronic Engineering** 78-79 (2005), 201-205.

[10] MAGDENKO L, GAUCHER F., AASSIME A., VANWOLLEGHEM M., LECOUEUR P., DAGENS B., *Sputtered metal lift-off for grating fabrication on InP based optical devices,* **Microelectronic Engineering** 2009 (Article in press)

[11] DUBOS P., CHARLAT P., CROZES Th., PANIEZ P., PANNETIER B., *Thermostable trilayer resist for niobium lift-off*, **J. Vac. Sci Technol.** 18(1) jan/feb 2000.

[12] KIM S.C., LI B.O., LEE H.S., SHIN D.H., KIM S.K., PARK H.C., RHEE J.K., *Sub-100nm T-gate fabrication using a positive resist ZEP520/P(MMA-MMA) trilayer by double exposure at 50kV e-beam lithography,* **Materials Science in Semiconductor Processing** 7(2004) 7-11.