

Fabricação de Microfluídica Usando Litografia de Bancada

João Miguel Soares da Silva

Departamento de Física e Astronomia da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

Resumo—Procedemos à implementação e otimização de um sistema de litografia ótica de bancada com alinhador de máscaras, para desenvolver microdispositivos, numa escala micrométrica, sem recorrer às condições especiais de uma sala limpa. Para isso, fizemos exposição de várias amostras com S1818 e SU8, variando parâmetros e tentando encontrar aqueles que dariam os melhores resultados. Neste trabalho, conseguimos usar S1818 e SU8 para obter estruturas micrométricas de resolução razoável a olho nu, como também conseguimos usar um alinhador de máscaras para fabricar um dispositivo de duas camadas.

I. INTRODUÇÃO

Litografia ótica é uma técnica de fabricação de dispositivos à escala dos micrometros ou dos nanometros [1]. Para poder fabricar dispositivos, começamos por depositar photoresist num substrato, que será posteriormente exposto a radiação ultra-violeta, estando uma máscara a bloquear certas regiões. No caso de um photoresist positivo, as regiões expostas poderão ser removidas, num negativo, as regiões expostas ficam mais duras e são as restantes que são lavadas. Desta forma, somos capazes de obter pequenas estruturas, para fabricar componentes nas mais diversas aplicações, nomeadamente, na produção de circuitos integrados, microfluídica, entre outras.

Processos de litografia ótica costumam ocorrer numa sala limpa, onde temos controlo sobre as condições ambientais que podem afetar este processo. Num último estágio, focamo-nos na criação de um sistema de bancada que produza estruturas numa escala de $\sim 10\mu m$, sem necessidade de recorrer à sala limpa do departamento. Neste trabalho, pretendemos não só otimizar o sistema já criado, com novo equipamento (principalmente com a introdução de uma hotte, o que nos permitirá fazer todo o processo numa só sala), como também tentar fabricar estômagos [2] para aplicações em microfluídica. Para isso, depois de pesquisar a tecnologia existente e planear os diferentes componentes [3]–[8], implementamos o sistema, focando-nos depois em otimizá-lo, fazendo testes de exposição com diferentes parâmetros.

II. EQUIPAMENTO EXPERIMENTAL

A montagem começa por um simples circuito elétrico (imagem 1) que nos permite ligar uma lâmpada de LED's ultravioleta ($\lambda = 365nm$) por um intervalo de tempo bem definido. Para isso, é ligado um temporizador [9] à lâmpada, que funciona como um interruptor, deixando-a ligada só pelo intervalo de tempo escolhido. O sistema de LED's que constitui a lâmpada é alimentado com 9V e 1A.

Juntamente com o circuito mencionado, temos uma mesa móvel de madeira que consegue atingir várias alturas, sendo



Figura 1. Mesa que estamos a usar (à esquerda) com uma lâmpada ligada a uma fonte de tensão, juntamente com um esquema (à direita) do circuito elétrico implementado.

o mais baixo a que consegue chegar $2.6cm$. É ainda usado um difusor para remover alguma da não-uniformidade da luz incidente, sendo que a uniformidade (figura 2) foi comprovada recorrendo a um powermeter (com uma área de deteção de $9.7mm \times 9.7mm$) [10], para diferentes alturas.

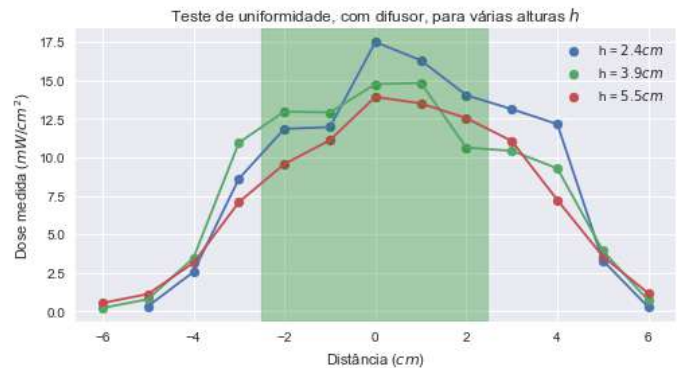


Figura 2. Na lâmpada usada (365nm), para um raio de $2.5cm$ do centro (região verde), a uniformidade calculada é 40.2%, 29% e 53.3% para as alturas 5.5cm, 3.9cm e 2.4cm respetivamente. Consideramos como definição de "uniformidade" o erro relativo entre o valor mais alto (valor de referência) e o mais baixo. Como o powermeter tem uma altura considerável, tivemos de a ter em conta e subtrair às alturas h usadas.

A sala em que nos encontramos tem as suas janelas cobertas por um filtro que bloqueia radiação ultravioleta, como podemos ver na figura 3. Isto, no entanto, foi uma adição nova ao espaço. Durante a maior parte deste trabalho, simplesmente tapávamos as janelas com cartão e tínhamos uma única lâmpada (com o filtro mencionado) que iluminava a sala (quando fizemos esta alteração às janelas, não observamos diferença nos resultados obtidos). Temos também acesso a um hot plate, a um spinner controlado por uma aplicação no computador (onde o interior é forrado com alumínio no início

de cada dia de testes, para limpar depois o photoresist) e a uma hotte (figura 4), onde tratamos dos produtos químicos e onde é colocado o spinner.



Figura 3. Janelas do laboratório, cobertas por um filtro que bloqueia radiação U.V.



Figura 4. Visão geral do equipamento disponível no laboratório.

Neste estágio, procuramos otimizar o nosso sistema para fabricar estruturas micrométricas, quer para photoresist S1818 [11], quer para SU8. Sendo assim, dispomos destes photoresists, guardados normalmente num frigorífico (em frascos cobertos por alumínio, para não serem incididos pela radiação solar) e só são retirados quando necessário. Temos também os respetivos reveladores à nossa disposição. Por fim, para limpar as amostras, temos ainda acetona (usada para remover a matéria orgânica das amostras), etanol (usado para remover a acetona) e água destilada (usada para remover o etanol).

III. EXPOSIÇÃO DE AMOSTRAS

Para preparar as amostras, foi feito spin coating de S1818 por 35 segundos a uma velocidade de 2500rpm e aceleração de 1000rpm/s , seguido por um pre-bake em hotplate a 115°C por 60 segundos. Com a mesa a uma altura de 5.5cm , como sugerido no artigo [3], foi otimizado, no último estágio elaborado, o tempo de exposição e revelação. É usado tempo de exposição de 30s a 45s se usarmos uma bolacha de silício e de 30s a 40s se usarmos uma lamela de vidro. Depois, é usado o revelador do S1818 (concentração de 1 de revelador para 6 de H_2O) para fazer uma revelação de 10s . A revelação é feita colocando a amostra num goblé com a solução referida

e agitando ligeiramente, sendo depois a amostra retirada e colocada num goblé de água destilada quando se pretender parar a revelação. Tendo em conta que a máscara light-field que estávamos a usar tinha estruturas de $10\mu\text{m}$, para as amostras de silício, conseguimos uma resolução de $10\mu\text{m}$ e, para as de vidro, uma resolução de $12\mu\text{m}$.

Trabalhar com SU8 é muito mais complicado, por se tratar de um photoresist negativo. Enquanto que para o S1818, até tempos de exposição bastante diferentes (figura 5) geram resultados aceitáveis a olho nu (pormenores só detetados ao microscópio), o SU8 gerou-nos muitos mais problemas. Para SU8-3005, foi otimizado na tese de Henrique Teixeira [12] o processo de fabricação na sala limpa deste departamento, pelo que decidimos começar por um spin coating de 45 segundos a uma velocidade de 2400rpm e aceleração de 500rpm/s (o processo otimizado em [12] recorria a 2 steps de spin coating, mas o nosso spinner não está equipado com essa funcionalidade), seguido por um pre-bake em hotplate a 95°C por 5min. , exposição e post-bake a 65°C por 1min. . Tentamos variar os tempos de exposição e revelação; no entanto, as amostras obtidas deste processo ou (i) não apresentavam nada ou (ii) ficava com restos de SU8 espalhados aleatoriamente pela superfície da amostra.

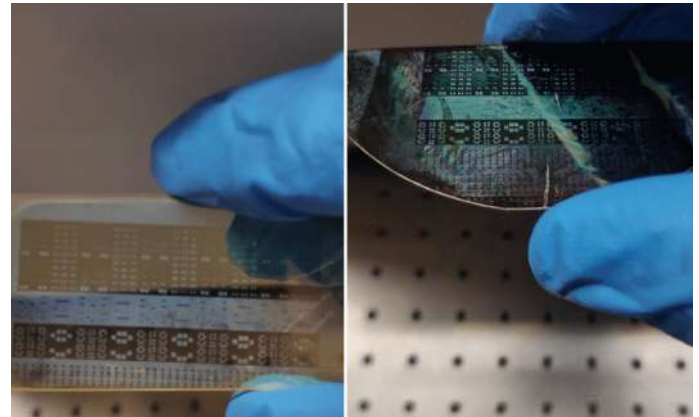


Figura 5. Primeira exposição alguma vez feita com o sistema de bancada. À esquerda temos uma lamela de vidro, onde o tempo de exposição foi de 2 minutos e à direita meia bolacha de silício, que foi exposta por 1 minuto. Note-se que, sendo a primeira exposição, ainda não tínhamos acesso à hotte e a revelação foi feita na sala limpa por outrem, podendo ter existido um tempo de revelação diferente.

Disto, colocamos a hipótese de que o photoresist não estaria a agarrar bem à amostra, já que um *flood exposure* (exposição feita sem máscara) também apresentava os mesmos problemas acima. Sendo assim, tentamos aumentar a espessura do photoresist, passando a um spin coating de velocidade de 1400rpm (requerendo agora pre-bake de 8min. e post-bake de 2min. , deixando os restantes parâmetros iguais). Depois de vários testes, conseguimos obter um resultado visível a olho nu usando um tempo de exposição de 25min. e revelação de 1min. (usando concentração total, não acrescentando H_2O na solução, ao contrário do que fazíamos com S1818), como vemos na imagem 6.

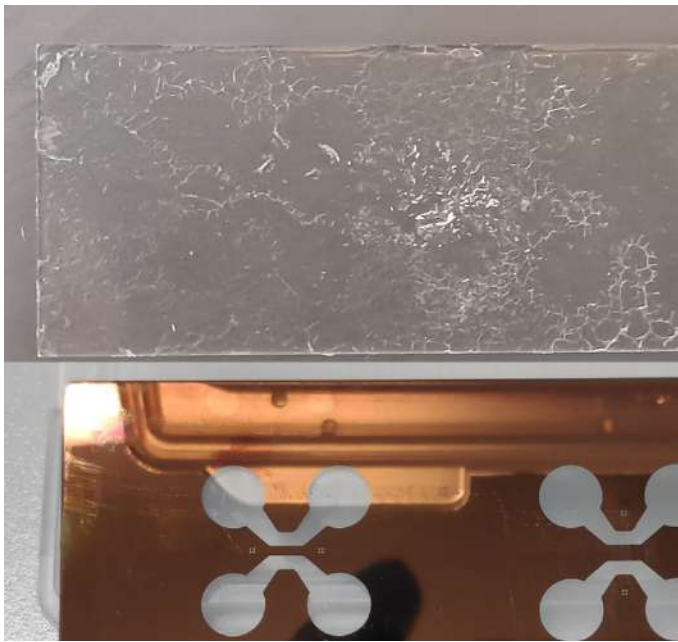


Figura 6. Estruturas observadas depois da revelação de uma amostra com SU8 (em cima) e a respetiva máscara usada (em baixo).

IV. ALINHADOR DE MÁSCARAS

A missão agora é fabricar um «custom-built mask aligner» (CBMA) barato, pequeno o suficiente para acomodar no nosso sistema de bancada e com uma resolução (que será testada) boa o suficiente para o que vamos querer fazer. Para tal, mudaremos alguns aspetos da nossa mesa de trabalho para acomodar este novo sistema. Começamos por comprar microscópios [13] que nos ajudarão a centrar a máscara com a amostra. Os microscópios foram testados e comprovou-se que servem para aquilo que queremos; porém, foi necessário comprar também um filtro, já que estes tinham luz branca. Depois, uma nova mesa foi projetada, baseando-nos no artigo de Q. L. Pham, *et al.* [4].

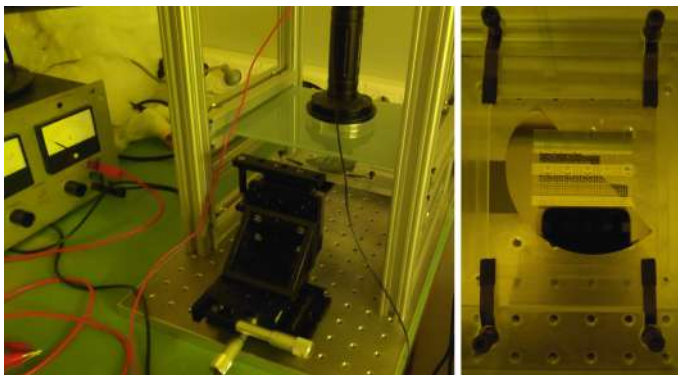


Figura 7. Nova mesa com um sistema de alinhador de máscaras (esquerda) e suporte de máscara (direita).

Na figura 7, vemos o CBMA construído. Temos um suporte onde é colocada a máscara e um stage móvel para pousar a amostra. É possível mover a amostra segundo x , y e z , como também variar o seu ângulo θ . O difusor e a lâmpada

encontram-se também numa plataforma móvel, que podemos colocar nos 5.5cm que estávamos a usar. Com este novo sistema, tentamos fazer o processo de litografia ótica para fabricar duas camadas. Para isto, fizemos o procedimento normal com S1818 e de seguida fizemos sputtering e liftoff. A razão por trás disto foi para termos um bom contraste para o alinhamento (tentamos uma vez sem fazer sputtering e não se conseguia observar a primeira camada no microscópio para fazer alinhamento). Para a segunda camada, começamos o procedimento normal e depois usamos o CBMA para alinhar a amostra e a máscara. Na imagem 8 conseguimos ver o resultado final obtido.

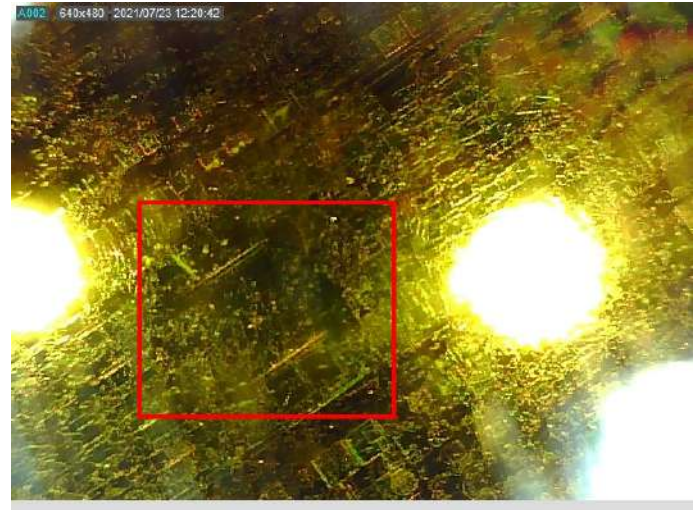


Figura 8. Amostra de silício com duas camadas, formadas com a mesma máscara usada nas imagens 5 e 7, referente a duas regiões vizinhas. Dentro do quadrado vermelho conseguimos ver razoavelmente bem estas duas camadas.

V. CONCLUSÃO

Foi possível construir um sistema de bancada para fabricar microdispositivos simples sem necessidade de recorrer às condições especiais de uma sala limpa. Para uma altura de 5.5cm e usando uma lâmpada de $\lambda = 365nm$, foram determinados parâmetros de pre-bake, tempo de exposição, post-bake e tempo de revelação para produzir microestruturas com S1818 e SU8-3005, para aplicações em microfluídica.

Para S1818, foi feito spin coating de 35s, a 2500rpm e 1000rpm/s, pre-bake de 1min. a 115°C, exposição de 35s e revelação de 10s. Para SU8-3005, foi feito spin coating de 45s, a 1400rpm e 500rpm/s, pre-bake de 8min. a 95°C, exposição de 25min., post-bake de 2min. a 65°C e revelação de 1min. No entanto, tendo só conseguido um único resultado positivo do SU8-3005 durante este trabalho, este ainda pode ser mais estudado e otimizado.

Foi também possível construir um alinhador de máscaras funcional, tendo fabricado com sucesso um dispositivo de duas camadas. No entanto, foi necessário fazer sputtering como processo intermédio, de forma a existir contraste para poder ser feito alinhamento com a 1ª camada.

REFERÊNCIAS

- [1] M. J. Madou, *Fundamentals of Microfabrication: The Science of Miniaturization*, CRC Press, 2nd edition, 2002.

- [2] Csaba Forró, *et al.* Modular microstructure design to build neuronal networks of defined functional connectivity. *Biosensors and Bioelectronics*, 122:75–87, 2018.
- [3] Mark D. Huntington and Teri W Odom, A portable, benchtop photolithography system based on a solid-state light source. *Small*, 7(22):3144–3147, 2011.
- [4] Q. L. Pham, *et al.* A compact low-cost low-maintenance open architecture mask aligner for fabrication of multilayer microfluidics devices. *Biomicrofluidics*, 12, 2018.
- [5] Ivan Moreno, *et al.* Designing light-emitting diode arrays for uniform near-field irradiance. *Applied Optics*, 45(10):2265–2272, 2006.
- [6] M. Erickstad, *et al.* A low-cost low-maintenance ultraviolet lithography light source based on light-emitting diodes. *Lab on a Chip*, 2015.
- [7] Yue Li, *et al.* Rapid fabrication of microfluidic chips based on the simplest LED lithography. *Journal of Micromechanics and Microengineering*, 25(5), 2015.
- [8] Pavan K. Challa, *et al.* Microfluidic devices fabricated using fast wafer-scale LED-lithography patterning. *Biomicrofluidics*, 11, 2017.
- [9] Panasonic LT4H Timer, specifications sheet, datasheet.octopart.com/LT4H-AC240V-Panasonic-datasheet-33239.pdf (accedido a fevereiro 2020).
- [10] S120VC - Standard Photodiode Power Sensor, specifications sheet, <https://www.thorlabs.com/drawings/56a235867297a7d9-7B2DC9B0-F02B-DF9C-F3C2965461EE19D5/S120VC-SpecSheet.pdf> (accedido a fevereiro 2020).
- [11] MICROPOSIT S1800 SERIES PHOTORESISTS datasheet, http://docs.capitolscientific.com/manufacture/dow_electronic_materials/datasheets/S1800_Photoresist.pdf (accedido a agosto 2020).
- [12] Henrique Teixeira; Micro-structures for morphology guiding and signal recording of neuronal cells: towards an integrated platform.
- [13] Dino-Lite AM2111 datasheet, http://www.farnell.com/datasheets/1909388.pdf?_ga=2.201994130.2003204847.1598880246-972657080.1590075904&_gac=1.255468282.1598880246.CjwKCAjwte71BRBCEiwAU_V9h7EnnwkgRv99zNr2S--LAM_48R5I5LVgLkf1XChXVZ9YePQBn7OynBoCfEgQAvD_BwE (accedido a agosto 2020).