

## Çip Üstü Laboratuvar Üretim Teknolojileri

Emrah Kaplan<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Elektrik ve Elektronik Mühendisliği / Gümüşhane Üniversitesi, Türkiye

\*[ekaplan@gumushane.edu.tr](mailto:ekaplan@gumushane.edu.tr)

**Özet** – Global literatürde Lab on Chip (LoC) olarak isimlendirilen Çip Üstü Laboratuvar konsepti, sunduğu avantajlar nedeniyle, başta sağlık olmak üzere farklı sektörlerde popülarlığını sürdürmektedir ve gelecek için de büyük bir potansiyel barındırmaktadır. Bu çalışma, özellikle LoC teknolojilerini üretimine yeni başlayacak veya fikir sahibi olmak isteyen araştırmacılara yönelik hazırlanmıştır. Fotolitografi, mikrofabrikasyon ve nanofabrikasyon tekniklerinin kullanımının yanı sıra 3D baskı teknolojisinin popülaritesindeki artış da ele alınmıştır. LoC cihazları ve mikroakışkan sistemlerini oluşturmak için bu yöntemlerin önemi makale boyunca tartışılmıştır.

**Anahtar Kelimeler** – LOC, Çip Üstü Laboratuvar, 3d Printer, Mikrofabrikasyon, Nanofabrikasyon

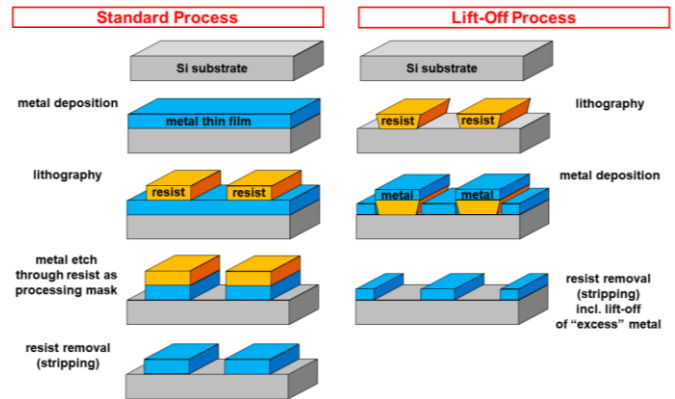
### I. GİRİŞ

LoC cihazlarının üretimi için minyatürizasyon kaçınılmaz bir işlemdir. Bu nedenle, mikro ve nano ölçekli üretim teknikleri, özellikle LoC teknolojilerinde oldukça kritiktir. Son zamanlarda popülerleşen 3D baskı teknolojisi de hızlı sonuç veren bir alternatif olarak ortaya çıkmaktadır. Ancak üretim aşamasına geçmeden önce, bu yöntemlerin yanı sıra, kullanılan malzemelerin özellikleri ve her birinin avantajları ve dezavantajları hakkında kapsamlı bir araştırma yapılması gerekmektedir.

### II. MİKROFABRİKASYON

Mikrofabrikasyon, LoC ve diğer tüm minyatürleştirilmiş cihazları üretmek için kullanılan bir dizi proses içerir. Mikrofabrikasyon yöntemleri genel olarak üç farklı şekilde uygulanır ancak son yıllarda bunlara dördüncü bir yöntem olarak 3 boyutlu (3D) yazıcı seçeneği de eklendi. 3D baskı, mikroakışkan cihazların prototipleme süreçlerinde giderek daha fazla tercih edilen bir yöntem haline gelmektedir [1]. 3D yazıcı çıktılarında çözünürlük limitlerinin artması, yüzlerce mikron düzeyinde özelliklerin basılmasını mümkün kılmaktadır ve geliştirilen yeni filament çeşitleri ile (COC filamentleri gibi) halihazırda kullanılan metotlara yakın sonuçlar alınabilmektedir.

#### A. Fotolitografi



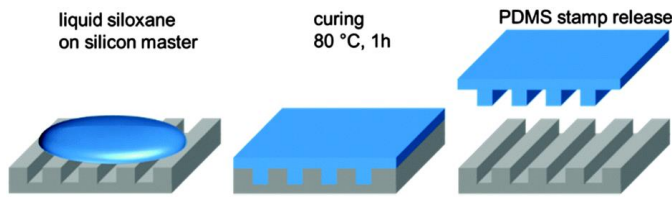
Şekil 1, Şekilde iki yaygın fotolitografi metodu ve basamakları anlatılmıştır [2]. Sağdaki yöntemde, ikinci basamaktaki desenli fotoresist halini elde edebilmek için öncesinde sırası ile resist coating, exposure ve development basamakları uygulanır.

Fotolitografi sürecinde kullanılan foto resistler, ışığa duyarlı malzemelerdir ve mikrofabrikasyon işlemlerinde hassas desenlerin oluşturulması için çok önemlidir. Bu polimer tabakalar, belirli bir ışık spektrumu altında kimyasal değişime uğradıkları için, maske ve ışık yardımı ile belirlenen kısımları daha hızlı çözünebilir hale getirilir [3]. Mikro ölçekte desenlerin yüzeylere aktarımı bu mantık yardımı ile gerçekleşir.

Üstteki şekilde, iki fotolitografik mikrofabrikasyon süreci gösterilmektedir. Standart Süreçte, metal ilk önce silikon bir alt tabaka üzerine biriktirilir, ardından litografik olarak tasarlanmış bir foto-dirençle kaplanır. Metal deseni ortaya çıkarmak için açıkta kalan metal kazınır ve kalan direnç kaldırılır. Lift-Off (Kaldırma) sürecinde ise, önce direnç tasarımı ve metal biriktirme gerçekleşir ve ardından direnç, üstündeki metali de alarak kaldırılır. Bu, kazınması gerekmeyen temiz bir desen bırakır. Bu seçenek, aşındırma işleminin hassasiyeti bozabileceği durumlarda hassas desenler oluşturmak için çok daha uygundur.

### B. Soft (Yumuşak) Litografi

90'lı yılların başında öncülük edilen bir teknik olan yumuşak litografi, özellikle biyoteknoloji, nanoteknoloji ve mikroelektronik alanlarında mikro ve nano ölçekli desenler oluşturmak için hayati bir mikrofabrikasyon yöntemidir. Genellikle PDMS gibi malzemelerden yapılan elastomerik damgaları kullanarak, geleneksel fotolitografinin karmaşıklığını ve yüksek maliyetlerini atlayarak desenleri çeşitli alt tabakalara kopyalar [4]. Opto-elektronik ve plazmonik gibi alanlarda mikroakışkan cihazlara, biyosensörlere ve metal nanoyapılara ekstra özellik kazandırılması işleminde yaygın olarak kullanılır. Özellikle tekdüzelik ve hassas hizalamanın daha az kritik olduğu durumlarda yukarıdan aşağıya aşındırma yerine çevre dostu aşağıdan yukarıya yöntemleri tercih edilir.



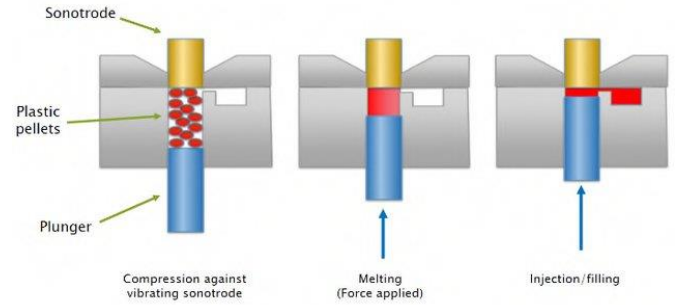
Şekil 2. Bir PDMS damgası oluşturma işlemi, siloksan oligomer sıvısının desenli bir silikon levha üzerine dökülmesi, termal olarak sertleştirilmesi ve ardından da kalıptan ayrılarak esnek bir kopyanın elde edilmesi basamaklarından oluşur [5].

Yumuşak litografi işleminde, arzu edilen desene sahip bir ana kalıp oluşturulur; bunun üzerine elastomerik bir malzeme (genellikle PDMS) dökülür. Katı ancak esnek bir kopya oluşturmak üzere sertleştirilir; bu daha sonra kalıptan ayrılır ve

herhangi bir malzemeyi başka bir hedef yüzeye aktarmak için kullanılır.

### C. Enjeksiyon Kalıplama

Verimliliği ve uygun fiyatı nedeniyle enjeksiyon kalıplama, LoC cihazlarının seri üretimi için idealdir. Bu yaklaşım, üretimi hedeflenen LoC cihazının boyutuna ve özelliklerine uygun bir kalıp üretimiyle başlar. Bu metal kalıplar, cihazın kanallarını ve bölmelerini tanımlayan hassas mikro ölçekli boşluklar içerir. Hedeflenen LoC cihazı uygulamasıyla uyumlu olan erimiş termoplastik polimerler, yüksek basınç altında kalıba pompalanır. Basınç sayesinde eriyik polimer tüm kalıp detaylarını doldurur. LoC cihazının tüm detayları, polimer kalıpta soğuyup sertleştiğinde ortaya çıkar. Son ürün, montaj veya işleme için kalıptan çıkarılır. Bu yöntem, karmaşık mikroakışkan cihazları hızlı ve hatasız yakın bir şekilde üretebildiği için büyük ölçekli üretime uygun bir yöntemdir [6].



Şekil 3 Enjeksiyon kalıplama ile üretimde uygulanan basamaklar şunlardır. Kalıp tasarımı ve üretimi, polimer eritme, enjekte etme, soğutarak katılaştırma ve ürünü çıkarma. Enjeksiyon esnasında titreşim sağlayan Sonotrode sayesinde tüm detayların erimiş polimer ile dolması sağlanır [7].

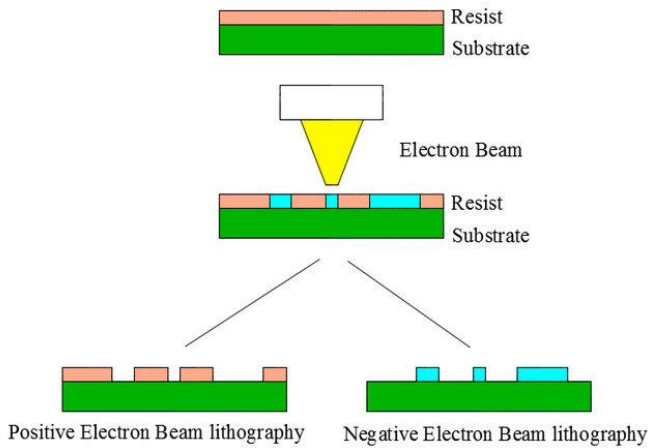
### D. Üç Boyutlu (3D) Çıktı Alma

3D yazıcılar ile Lab-on-a-Chip (LoC) cihazlarının üretimi, mikroakışkan sistemlerin ve biyomedikal cihazların tasarım ve imalat süreçlerinde önemli bir rol oynamaktadır. Bu teknoloji, özellikle kompleks geometrileri ve ince detayları içeren cihazların hızlı ve uygun maliyetle prototiplenmesini sağlar. Fused Filament Fabrication (FFF) gibi 3D baskı yöntemleri, çeşitli malzemeleri kullanarak katman katman nesnelere oluşturur. Bu süreç, özellikle kişiselleştirilmiş tıbbi cihazlar ve mikroakışkan sistemler için idealdir, çünkü esnek tasarım imkanları ve kısa üretim süreleri sunar. Ancak, bu teknoloji optik

özelliklerini ve yüzey pürüzlülüğünü kontrol etme ihtiyacı gibi belli başlı zorlukları da beraberinde getirir. Ayrıca, sağlık ve güvenlik konuları, özellikle ultra ince partikül ve Volatil Organik Bileşik (VOC) emisyonları da dikkate alınması gereken önemli faktörlerdir [8]. Araştırmacılar, FFF teknolojisinin LOC üretiminde güvenli bir şekilde uygulanması için, cihaz tasarımı ve geliştirmenin erken aşamalarında, güvenlik ve risk yönetimi yapılmasının önemini vurgulamışlardır [9].

### III. NANOFABRİKASYON

Elektron ışını litografisi (EBL) İşlemi, fotolitografiye çok benzemektedir. Ancak elektron ışın demetinin dalga boyunun, UV ışına göre daha küçük olması sayesinde, mikro yerine nano ebatlara inilebilmektedir ve daha yüksek çözünürlüklü, daha küçük ebatlı yapılar oluşturmaya imkan vermektedir.



Şekil 4 EBL 'in çalışma mekanizması. Pozitif ve negatif resist kullanımı sonucu birbirine zıt desenler elde edilir [10].

EBL sistemleri, elektron ışınını yoğunlaştırmak amacıyla elektrostatik veya manyetik mercekle kullanılır. Yoğunlaştırılmış elektron akışı, foto direnç adı verilen elektrona duyarlı özel bir malzeme tabakası üzerinde gezdirilerek bu yüzeyde, ayrıntılı tasarımlar oluşturulur. Elektron ışını, direncin çözünürlüğünü değiştirir, böylece direnç geliştirme işleminde çözücü sıvı uygulandıktan sonra, belirli bölgelerin hedeflenen desene uygun şekilde yüzeyden kaldırılması sağlanır. Ticari elektron ışını litografi (EBL) sistemleri pahalı yatırımlardır. Ancak araştırma amacıyla bir elektron mikroskopunu daha düşük bir maliyetle EBL sistemine dönüştürmek mümkündür.

### IV. SONUÇLAR

LoC teknolojileri, özellikle çevresel ve sağlık analizlerinde kullanıldığında, bilimsel ve toplumsal faydaları artırabilir. İleri teknoloji sensörler ve mikroakışkan sistemler, bu konsept cihazların temel bileşenleridir. Cihazlar, yüksek hassasiyetli üretim teknikleri ve üretim süreçlerinin kalite kontrolü sayesinde yüksek standartlarda ve yüksek kalitede üretilebilir. Bu noktada diğer önemli parametre ise nihai hedefe uygun malzeme kullanımudur. Tüm bu fabrikasyon teknolojilerin ortaya çıkarılmasında disiplinler arası işbirliği ve yenilikçi tasarım yaklaşımları çok önemlidir. Üretim teknikleri ve malzeme alanlarında yapılacak yeni çalışmalar sayesinde daha taşınabilir, daha verimli, daha hassas, daha dayanıklı ve daha düşük maliyetli LoC cihaz üretiminin mümkün olması öngörülmektedir.

### KAYNAKLAR

- [1] A. T. Giannitsis, "Microfabrication of biomedical lab-on-chip devices. A review," *Estonian Journal of Engineering*, vol. 17, no. 2, p. 109, Jan. 2011, doi: 10.3176/eng.2011.2.03.
- [2] N. Atkinson *et al.*, "Microfabrication Process Development for a Polymer-Based Lab-on-Chip Concept Applied in Attenuated Total Reflection Fourier Transform Infrared Spectroelectrochemistry," *Sensors*, vol. 23, no. 14, Art. no. 14, Jan. 2023, doi: 10.3390/s23146251.
- [3] Ahmad Zaman Qamar, A. Z. Qamar, and M. H. Shamsi, "Desktop Fabrication of Lab-On-Chip Devices on Flexible Substrates: A Brief Review.," *Micromachines*, vol. 11, no. 2, p. 126, Jan. 2020, doi: 10.3390/mi11020126.
- [4] D. Qin, Y. Xia, and G. M. Whitesides, "Soft lithography for micro- and nanoscale patterning," *Nat Protoc*, vol. 5, no. 3, Art. no. 3, Mar. 2010, doi: 10.1038/nprot.2009.234.
- [5] F. M. Wissler, B. Schumm, G. Mondin, J. Grothe, and S. Kaskel, "Precursor strategies for metallic nano- and micropatterns using soft lithography," *Journal of Materials Chemistry C*, vol. 3, no. 12, pp. 2717–2731, 2015, doi: 10.1039/C4TC02418D.
- [6] G.-H. Kim, J.-W. Lee, Y.-M. Heo, and G.-S. Yoon, "Fabrication of Polymeric Biochips With  $\mu$ -Fluidic Channel by Injection Molding Technology," *Journal of Mechanical Engineering and Automation*, vol. 2, pp. 17–22, Aug. 2012, doi: 10.5923/j.jmea.20120201.04.
- [7] M. Gülçür, B. Whiteside, K. Nair, M. Babenko, and P. Coates, *Ultrasonic injection moulding of polypropylene and thermal visualisation of the process using a bespoke injection mould tool*. 2018.
- [8] A. Dey, I. N. Roan Eagle, and N. Yodo, "A Review on Filament Materials for Fused Filament Fabrication," *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, vol. 5, no. 3, Art. no. 3, Sep. 2021, doi: 10.3390/jmmp5030069.

- [9] D. Vaes and P. Van Puyvelde, "Semi-crystalline feedstock for filament-based 3D printing of polymers," *Progress in Polymer Science*, vol. 118, p. 101411, May 2021, doi: 10.1016/j.progpolymsci.2021.101411.
- [10] H. Shahali, J. Hasan, H. Wang, T. Tesfamichael, C. Yan, and P. Yarlagadda, "Evaluation of Particle Beam Lithography for Fabrication of Metallic Nano-structures," *Procedia Manufacturing*, vol. 30, pp. 261–267, Jan. 2019, doi: 10.1016/j.promfg.2019.02.038.