1. Intro

지난 수십년간 반도체 공정에서 optical litho가 발전되었다. 반도체 공정의 optical litho는 맥시멈 resolution이 수백나노로 궁극적으로는 빛의 psf에 의해 제한되었고, 이것을 깨기 위한 많은 노력이 있었다[ref].

이러한 optical litho는 microfluidic에도 적용되어 반도체 공정과 같이 photomask 이용하여 원하는 structure를 제작[도일]. 다양한 종류의 포토마스크 이용하여 encoded 파티클과 같은 정보를 갖고 있는 파티클을 만들 수 있다[도일]. Microfluidic 채널에서 폴리머를 cure하여 structure를 만들때, DMD의 변환가능한 특성을 이용여 3d 구조를 만든다던가[uSL], DMD를 이용한 더욱 다양한 형태의 파티클을 만드는 방법도 제안되었다[권].

DMD를 이용한 마이크로채널에서의 litho는 고정된 photomask대신 동적인 mask를 이용하므로 더욱 다양한 형태의 litho가 가능하다는 장점이 있지만, photomask가 diffraction limit에 의해 resolution이 제한되는 것과는 반대로 DMD의 픽셀사이즈에 의해 litho의 resolution이 제한된다는 단점이 있다. 일반적으로 1024by768 pixel인 DMD를 수십um 크기인 파티클 1개의 photomask로 이용하는 경우는 큰 문제가 되지 않지만, 파티클 대량생산을 위해 single DMD에서 수백개의 파티클을 한번에 찍어내고자 하는 경우에는 파티클1개에 할당되는 pixel이 적어지므로 문제가 생길 수 있다. 대물렌즈의 배율을 높여 더 작은 파티클을 cure하는 방법으로 해상도 문제를 해결할 수도 있지만 이 경우에는 depth of field가 얕아져서 채널 높이가 높은 경우에 원하는 모양의 파티클을 얻기 어렵다는 문제가 있다.

DMD가 가장 널리쓰이는 프로젝션 디스플레이 분야에서는 하나의 DMD를 이용하여 해상도를 높이고자 하는 노력이 존재하였다[HP]. wobulation이라고 불리는 이 기술은 하나의 dmd를 이용, shift projection이라는 방법을 사용하여 해상도를 높이고자 하는 방법이다. 하나의 dmd 를 이용하여 여러개의 이미지를 얻기 때문에, 추가되는 비용을 최소화하고 해상도를 높일 수 있다.

이 방법을 litho에 응용하면 lithography에서도 일정부분 해상도의 향상을 얻을 수 있다.

1. Experiment

Wobulation scheme used for projection imaging relies on the ability to display smaller pixels with additional grayscale by doubling the data projected onto a single image. However, as a single spot on a photocuable resin exposed to UV light with sufficient amount of time shows an on/off behavior for curing process, advantage of projection lithography using mask/stage shift is limited to sub-pixel resolution pattern formation on cured particles.

Photocuable resin(NOA 81) was used for pattern formation, pattern was cured on our OFML setup(ref) using 4x objective lens. Single pixel on DMD(D4100) has a mirror pitch of 13.6um which corresponds to 3.4um pixel pitch on cured pattern. Stage was controlled using stepper motors(SCAN IM, Marzhauser) with a resolution of 0.05 um