

대면적 리소그래피를 위한 홀로그래프 영상의 연결과 연결 영역에서의 간섭무늬 제거

이준섭 · 박우제 · 이지환 · 송석호[†]

한양대학교 물리학과
Ⓣ 133-791 서울특별시 성동구 행당동 17

이성진[‡] · 김의석

삼성전자 기술총괄 생산기술연구소
Ⓣ 443-370 경기도 수원시 영통구 매탄동 416

(2008년 12월 1일 받음, 2009년 1월 19일 수정본 받음, 2009년 1월 21일 게재 확정)

본 논문에서는 대면적 리소그래피를 위하여 홀로그래프 영상을 연결하여 기록 물질에 저장하고 이를 마스크로 이용하는 노광 방법을 제안하고 구현하였으며, 홀로그래프 영상을 재생하는 과정에서 발생하는 영상 연결 부분에서의 간섭 무늬를 제거하였다. 연결하고자 하는 영상은 DMD(digital micro-mirror device)로 표시하였으며, DMD 영상은 축소 광학계를 통하여 기록 물질에 저장되었다. 기록 물질은 전동 스테이지로 이동되도록 하여, DMD로 표시되는 영상이 기록 물질에 연속적으로 저장되도록 하였다. 이러한 방법으로 저장되는 연결된 영상은 재생광에 의하여 노광에 사용되는데, 재생광의 간섭성에 의하여 연결부분에 간섭무늬가 발생된다. 간섭무늬는 노이즈로 작용하는데, 다중 노광에 의한 홀로그래프 영상의 기록과 재생을 이용하여 이를 제거하였다. 본 논문에서는 DMD와 전동 스테이지를 이용하여 영상을 연결하여 기록하고, 다중 노광에 의한 영상 기록 방법을 이용하여, 간섭 무늬가 제거된 연결된 영상을 구현하고 이를 리소그래피에 적용하였다.

주제어: Holographic photo lithography, Image stitching, Large area lithography, DMD imaging, Angular multiplexing

I. 서 론

반도체 공정에 쓰이는 리소그래피는 미소 회로의 제작 뿐만 아니라, 디스플레이 기기와 조명소자, MEMS 구조의 제작과 같은 다양한 용도로 적용 범위를 넓히고 있다. 이와 함께 리소그래피는 각각의 요구에 맞도록 개선이 요구되고 있는데, 최근 그 수요가 증대되고 있는 디스플레이 기기의 제작은 리소그래피의 대면적화를 요구하고 있다.^[1] 대면적 리소그래피는 자기 조립에 의한 패터닝,^[2] 나노 임프린팅,^[3] 간섭무늬를 이용한 노광^[4] 등의 방법으로 시도되고 있으나, 이는 나노 규모의 구조를 대상으로 하며, 디스플레이 기기나 플렉서블 전자회로, 웨이퍼 규모 패키징 등을 위해서는 레이저 스캐닝에 의한 노광 방법이 대두되고 있다.^[1]

일반적으로 리소그래피는 크롬 마스크를 이용하는데, 짧은 파장의 빛을 광원으로 사용하거나, 마스크와 기판 사이에 축소 광학계를 삽입하고, 마스크에 위상차를 두는 방향으로 기술이 진보하고 있다.^[5,6] 이러한 진보는 보다 좁은 선폭의 노광과, 마스크 패턴의 왜곡 보정을 목적으로 이루어지는데, 홀로그래프 리소그래피는 높은 개구수(NA)값의 확보와 마스크 패턴의 1:1 전사를 가능하게 하므로 이러한 목적을 이루기 위한 효과적인 수단이 된다.^[7-10]

본 논문에서는 대면적 리소그래피를 위한 방법으로, 영상 연결에 의한 홀로그래프 리소그래피를 제안하고 구현하였다. 그

리고 대면적 노광을 위해 영상을 연결하여 기록하면, 기록된 영상을 재생하는 과정에서 연결부분에서의 간섭무늬 발생이 문제가 된다. 본 논문에서는, 이러한 간섭 무늬의 제거를 위하여 다중 노광에 의한 홀로그래프 기록을 제안하고 구현하였다.

II. 본 론

본론에서는 기존에 시도되었던 홀로그래프 리소그래피 방법에 관하여 간략히 기술하고, 이를 대면적 노광에 적용하기 위하여 시도된 영상 분할 홀로그래프 리소그래피에 관하여 서술하고자 한다. 그리고 영상 분할 홀로그래프 리소그래피 방법을 적용함에 있어서의 문제점과 이의 해결을 위하여 새롭게 시도된 다중 노광 홀로그래프 리소그래피 방법에 관하여 기술하고자 한다.

2.1. DMD를 이용한 영상 연결 홀로그래프 리소그래피

홀로그래프를 리소그래피에 적용하기 위하여 보고된 방법은 그림 1과 같다. 일반적으로 사용되는 크롬 마스크의 패턴을 홀로그래프 매질에 기록하여 홀로그래프 마스크를 만든다. 그리고 기록된 홀로그래프 마스크에 재생빔을 입사하여 크롬 마스크의 패턴을 재생하고 이를 이용하여 노광을 한다.^[7-10] 그러나 이러한 방법은 마스크로 사용할 홀로그래프 매질을 기록함에 있어서 일반적인 크롬 마스크를 사용하므로, 대면적 노광을 위해서는 원본 영상에 해당하는 크롬 마스크도 넓은 면적을 갖도록 제작되어야 하기 때문에 대면적 리소그래피를 위해서는 적합하지 못하다.

[†]E-mail: shsong@hanyang.ac.kr

[‡]E-mail: sungjlee@samsung.com / elite87@yahoo.com

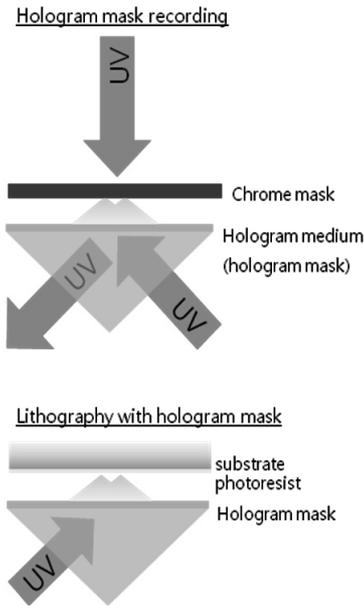


그림 1. 홀로그램 리소그래피의 기본 원리.

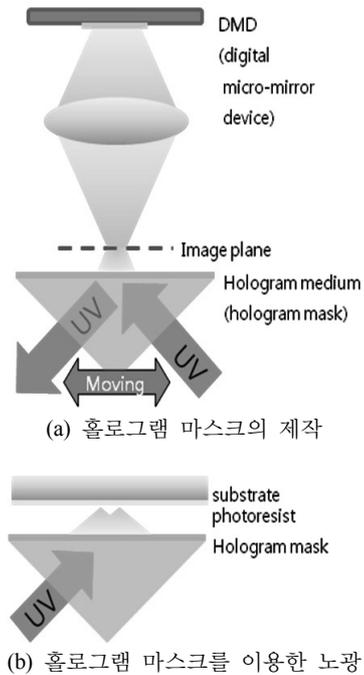


그림 2. 영상 연결에 의한 홀로그램 리소그래피.

이러한 제약을 해결하기 위해서, 본 논문에서는 DMD(Digital Micro-mirror Device)에 의한 영상 연결 홀로그램 리소그래피 방법을 시도 하였다. 이는 대면적의 홀로그램 마스크를 제작하기 위하여 일반적인 크롬 마스크 대신에 DMD를 이용하는 방법인데, 크롬 마스크의 패턴을 여러 조각으로 분할한 후, 분할된 패턴을 DMD로 각각 재현하고, 이를 연결하여 홀로그램 매질에 기록하는 방법이다. 이를 이용하여 리소그래피를 구현하는 방법은 그림 2와 같이 홀로그램 마스크를 제작하는 단계와 제작된 마스크를 이용하여 노광을 하는 단계로 나뉜다. 그림 2(a)는 홀로그램 마스크의 제작을 위한 개략

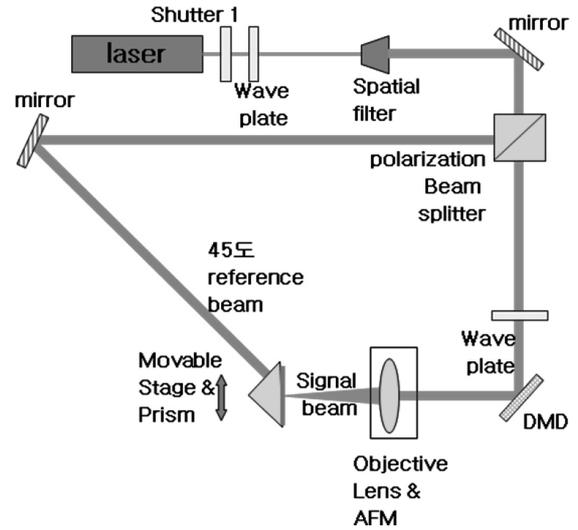


그림 3. 영상 분할 홀로그램 리소그래피의 실험 장치의 개략도.

도이다. DMD로 구현되는 영상은 축소 광학계를 통하여 홀로그램 매질의 바로 위에 결상이 된다. 이는 홀로그램 매질의 바로 위에 크롬 마스크를 위치 시키는 효과를 준다. 그리고 프리즘을 통하여 입사된 빛은 홀로그램 기록 매질과 공기의 경계면에서 전반사가 된다. 그러므로 홀로그램 매질에는 신호빔 역할을 하는 축소된 DMD의 영상과 기준빔의 역할을 하는 프리즘에 입사되고 전반사되는 빛의 간섭무늬가 기록된다. 이러한 방법으로 홀로그램 매질의 국소 영역에 기록이 종료되면, 전동 스테이지를 통하여 프리즘과 홀로그램 매질을 옆으로 이동을 한다. 그리고 이전에 기록된 영상과 연결될 영상을 DMD로 구현하고 앞서의 과정을 반복한다. 이러한 과정을 반복하여 영상을 연결하면서 홀로그램 매질에 기록하면 대면적 홀로그램 마스크를 얻게 된다. 그림 2(b)는 이러한 방법으로 제작된 홀로그램 마스크로 노광을 하는 단계이다. 기록된 홀로그램 마스크에 재생빔을 입사하면 마스크의 위에는 각기 연결되어 기록되었던 영상이 동시에 재생에 되는데, 감광제가 도포된 기판을 영상의 재생면에 위치시키면 홀로그램 영상에 의한 노광 효과를 얻게 된다. 이 단계에서의 재생빔은 넓은 면적을 동시에 노광하는 것과 좁은 영역을 주사 방식으로 노광하는 것이 모두 가능하다.

DMD를 이용한 영상 분할 홀로그램 리소그래피의 실험 장치는 그림 3과 같다. 광원으로는 365 nm 파장의 레이저가 사용되었으며, 셔터를 이용하여 홀로그램의 기록 시간이 조절되도록 하였다. 그리고 셔터의 뒤에는 파장판을 두었는데, 이는 편광 조절에 의한 기준빔과 신호빔의 광량 비율을 조절하기 위하여 삽입되었다. 이렇게 편광이 조절된 빛은 확산이 되고, 분광기를 통하여 분할되도록 하였다. 분광기로는 편광 분광기를 사용하여, 파장판으로 조절되는 편광 각도에 따라서 분할되는 빛의 광량이 조절되도록 하였다. 분할된 빛은 각각 신호빔과 기준빔이 되는데, 신호빔은 추가적인 파장판에 의해 기준빔과 편광 방향이 일치되도록 조절하였다. 편광이 조절된 신호빔은 DMD를 통하여 반사가 되는데, 이 과정에서 DMD의 영상 정보를 얻게 된다. DMD에서 반사된 빛

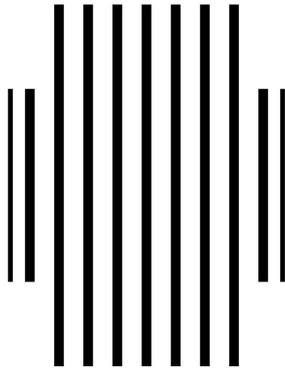
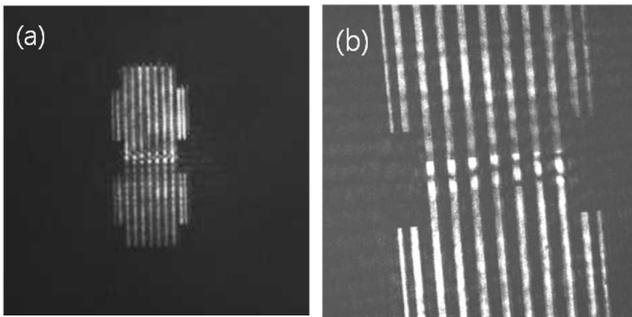


그림 4. 홀로그래프 기록 실험에 사용된 기본 영상.



(a) 전체 재생 영상 (b) 연결 부분의 확대 영상

그림 5. 연결되어 재생된 홀로그래프 영상.

은 축소 광학계를 통하여 프리즘의 윗면에 결상이 된 후, 프리즘 위의 홀로그래프 매질에 입사되고, 기준빔은 미러를 통하여 프리즘에 45°로 입사되어 홀로그래프 매질에서 전반사 되도록 하였다. 프리즘은 전동 스테이지로 이동이 가능하도록 하여 영상이 연결되어 기록되는 것이 가능하도록 하였다. 홀로그래프 기록 매질은 석영 기판에 도포되어 프리즘 위에 올려지도록 하였는데, 이러한 장치를 통하여 내부전반사 홀로그래프가 기록되도록 하였다. 실험에 사용된 DMD는 1024×768의 픽셀을 갖고, 각 픽셀은 13.6 μm × 13.6 μm의 크기를 갖는다. 축소광학계는 1/30로 영상을 축소시키도록 설계되었다. 그리고 축소광학계에 의한 영상은 홀로그래프 매질과 150 μm의 간격을 갖도록 하였다. 이러한 실험 장치를 통하여, 연결된 영상의 정보를 갖는 홀로그래프 마스크의 제작이 가능하다. 제작된 마스크를 이용하면 동일한 실험 장치를 통하여 노광 실험을 수행할 수 있다. 신호빔을 차단하고 홀로그래프 마스크를 기록이 될 때와 비교하여 180° 돌려서 프리즘 위에 위치시키면 실험 장치에서의 기준빔을 재생빔으로 사용할 수 있게 된다. 이렇게 영상이 기록된 홀로그래프 마스크에 재생빔을 입사하면 마스크와 150 μm의 간격을 가지고 홀로그래프 영상이 재생된다. 그림 3의 프리즘은 실제 장치에서는 윗면을 향하므로, 홀로그래프 마스크의 가장 자리에 두께 150 μm의 커버글라스를 놓고, 그 위에 감광제가 도포된 기판을 뒤집어서 올려두면 재생되는 홀로그래프 영상은 감광제를 노광하게 된다. 실험에서는 동일한 기준 영상 2개를 연결하여 기록하고 재생하였다. 실험에 사용된 기준 영상은 그림 4와 같다. 결과는

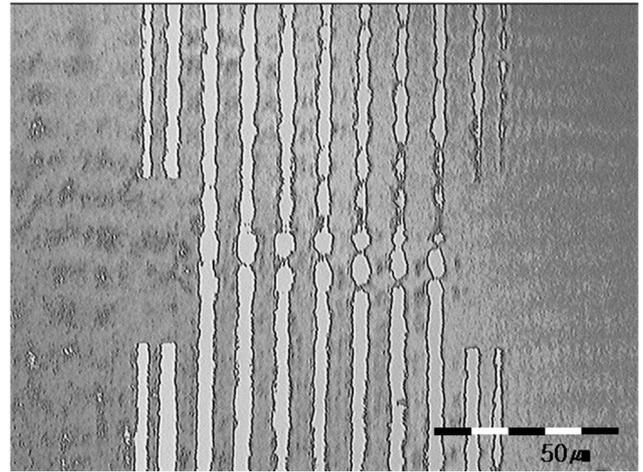


그림 6. 연결되어 재생된 영상을 이용한 리소그래피 결과.

재생 영상을 CCD로 관찰하고, 실제 노광을 하여 확인하였다. 그림 5는 CCD로 확인한 재생 영상이다. 그림 5(a)를 통하여 기준 영상 2개가 연결되어 재생된 것을 알 수 있다. 그림 5(b)는 재생 영상의 연결 부분을 확대한 것인데 간섭무늬가 발생된 것을 알 수 있다. 재생 영상에서의 간섭 무늬는 노광에 있어서는 노이즈의 원인이 된다. 실제 노광 실험 결과에서도 그림 6과 같이 연결 부분에서 제거되어야 할 감광제가 남아 있는 것을 볼 수 있다. 영상을 연결하여 홀로그래프 매질에 기록하고 이를 재생하면, 영상이 연결되는 것은 확인할 수 있으나 연결부분에 간섭무늬가 발생되며, 노광 결과에도 영향을 미치는 것을 알 수 있었다.

2.2. 다중 노광에 의한 홀로그래프 리소그래피

앞서의 방법으로 기록된 홀로그래프 영상은 간섭성이 있는 빛으로 재생된다. 이 재생빔의 간섭성은 각기 연결되어 재생된 영상에도 영향을 미치므로, 연결부분에 간섭무늬가 발생된다. 이의 해결을 위하여 각도 다중화에 의한 홀로그래프 기록 방법을 적용하였다.

다중화는 홀로그래프 매질에 대용량의 정보를 저장하기 위한 방법으로 기록 매질의 한 점에 각기 다른 기준빔을 이용하여 정보를 저장하는 방법이다. 일반적으로 각도 다중화, 회전 다중화, 이동 다중화로 구분된다.^[11-13] 특히 각도 다중화는 기준빔의 각도에 따라 기록 매질의 동일 영역에 각기 다른 영상의 기록을 가능하게 하므로 홀로그래프 리소그래피에 적용하기가 용이하다. 다중 노광에 의한 홀로그래프 리소그래피는 각도 다중화를 리소그래피에 적용한 것이다. 앞서의 홀로그래프 영상의 연결에 있어서 문제가 되는 것은 이웃한 영상들의 연결 부분에서 발생하는 간섭무늬이다. 그러나 연결될 영상들이 각기 다른 각도의 기준빔으로 기록이 되면, 연결될 영상들을 시간적으로 분리하여 재생시킬 수 있으므로, 노광 결과물의 연결 부분에서 간섭 무늬 효과를 방지할 수 있다.

그림 7은 각도 다중화를 이용하여 홀로그래프를 기록하고 재생하는 것을 보여준다. 우선 45°의 기준빔을 이용하여 영상을 기록한다. 그리고 홀로그래프 매질을 이동한 후에, 연결될

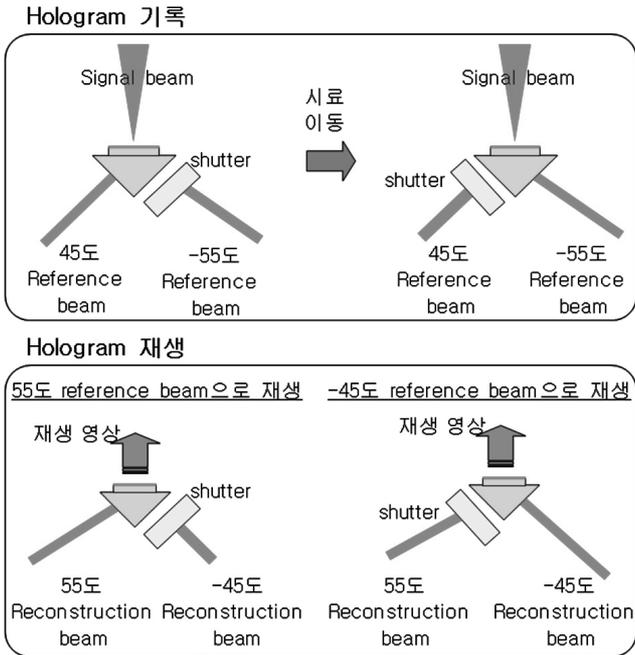
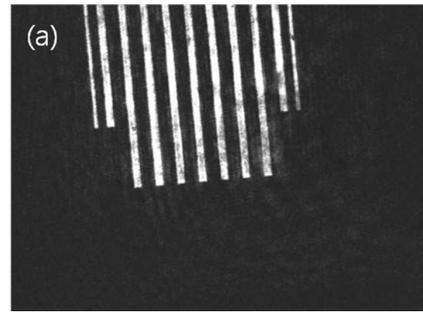
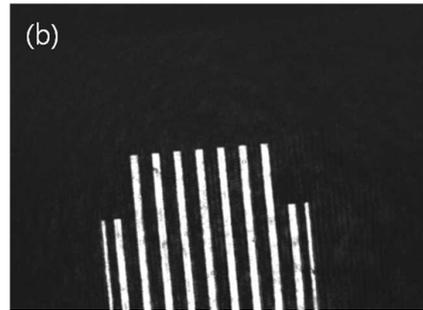


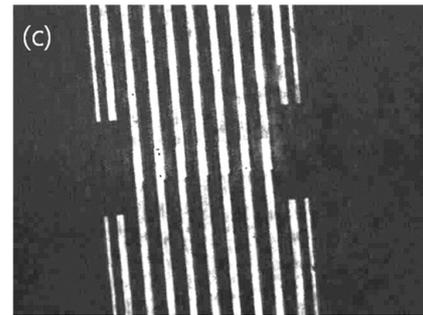
그림 7. 각도 다중화를 이용한 홀로그램 영상의 기록과 재생.



(a) 45°기준빔으로 기록된 영상



(b) -55°기준빔으로 기록된 영상



(c) 각각의 재생 영상의 밝기 합

그림 9. 다중 노광에 의한 홀로그램의 재생 영상.

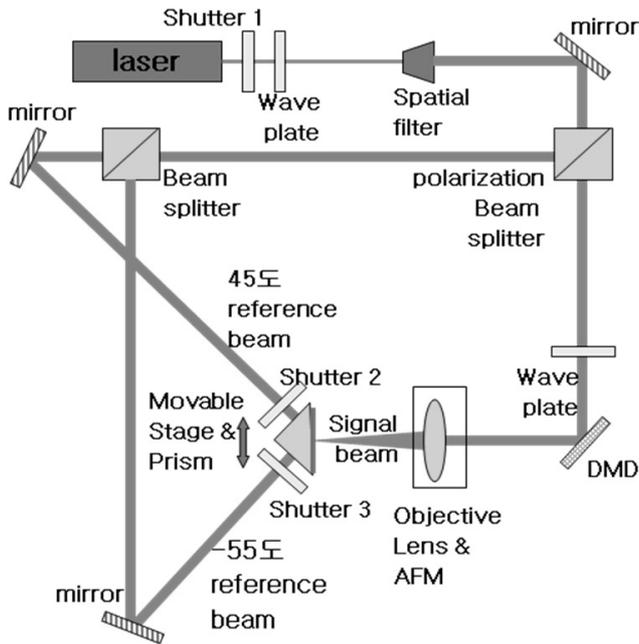


그림 8. 다중 노광에 의한 홀로그램 리소그래피의 실험 장치의 개략도.

영상을 -55°의 기준빔으로 기록한다. 기록이 마무리되면, 신호빔을 차단하고 재생빔을 55°로 입사한다. 그러면 -55°의 기준빔으로 기록된 영상만 재생이 된다. -45°의 재생빔을 이용하면 45°의 기준빔으로 기록된 영상만 재생이 된다. 노광은 각각 나누어서 수행하여도 되므로 재생빔의 각도를 달리 하며 노광을 하면 간섭무늬가 제거된 연결 영상을 노광할 수 있을 것이다. 다중 노광에 의한 홀로그램 리소그래피를 실험하기 위한 장치는 그림 8과 같다. 기본적인 구성은 그림 3에

보여지는 것과 유사하지만, 분광기를 이용하여 기준빔을 다시 분할하고 이를 각각 45°와 -55°로 홀로그램 매질에 입사되도록 하였다. 그리고 각각의 기준빔은 셔터를 통하여 차폐가 가능하도록 하였다. 실험의 진행은 앞서 기술한 영상 연결 홀로그램을 이용하는 경우와 비슷하지만, 기준빔의 각도에 따른 순차적 기록과 재생이 요구된다.

실험은 DMD를 이용한 영상 연결에서와 같이, DMD를 이용하여 기준 영상인 그림 4를 연결하여 기록하고 재생하였다. 그림 9는 CCD로 관찰한 재생 영상이다. (a)는 45°의 기준빔으로 기록한 영상이고 (b)는 -55°의 기준빔으로 기록한 영상이다. (c)는 (a)와 (b) 두 영상의 각 픽셀이 갖는 밝기를 합하여 계산한 결과이다. 재생빔의 각도를 바꾸며 순차적으로 노광을 하면, 그림 10(c)의 밝은 부분만 노광될 것임을 예상할 수 있다. 그림 10은 다중 노광을 통하여 리소그래피를 수행한 결과이다. 그림 6에서의 결과와는 달리 연결부분의 감광제가 완전히 제거되는 것을 확인할 수 있었다.

영상의 연결부분은 중복 노광이 되어 노광량 분포가 높아

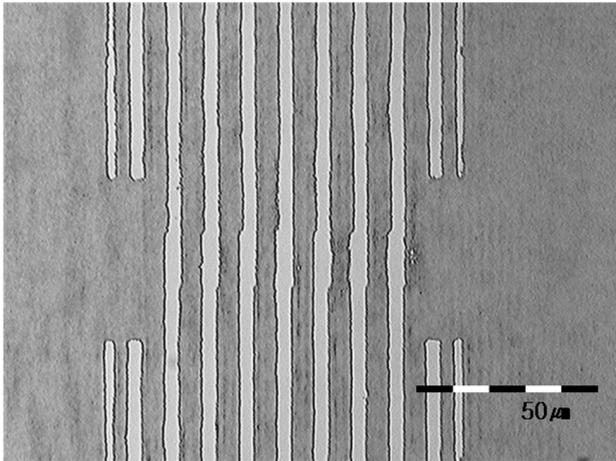


그림 10. 다중 노광에 의한 홀로그래프 리소그래피의 결과.

지게 된다. 이러한 문제는 레이저 스캐닝에 의한 대면적 노광에서도 대두되는 문제인데, 각기 연결될 단위 영상을 별집 모양으로 하여 그 효과를 줄이고 있다.^[1] 이는 본 논문에서 시도한 방법에도 적용이 가능할 것이다.

III. 결 론

본 논문에서는 대면적 노광을 위한 방법으로 홀로그래프 리소그래피를 적용하였다. 대면적화는 영상을 연결하여 기록하는 방법으로 시도되었는데, DMD를 이용한 영상 연결 홀로그래프의 기록과 재생이 가능함을 확인하였다. 연결된 영상의 재생 과정에서 연결 부분의 간섭무늬가 발생되었는데, 이는 각도 다중화를 응용한, 다중 노광 방식을 적용하여 연결 부분의 간섭 무늬 효과를 제거하고 노광에 적용할 수 있음을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 삼성전자 생산기술연구소의 지원(과제명 : Polarization 방식을 이용한 Surface Relief Hologram Mask 핵심기술 개발)에 의하여 수행되었습니다. 이에 감사 드립니다.

참고문헌

[1] K. Jain, M. Zemel, and M. Klosner, "Large-Area High-

Resolution Lithography and Photoablation Systems for Microelectronics and Optoelectronics Fabrication," *PROCEEDINGS OF THE IEEE*, vol. 90, no. 10, pp. 1681-1688, 2002.

[2] Kahp Y. Suh and Hong H. Lee, "Capillary force Lithography: Large-area patterning, self-organization, and anisotropic dewetting," *Advanced Functional Materials*, vol. 12, issue 6+7, pp. 405-413, June 2002.

[3] Lebib A., Chen Y., Bourneix J., Carcenac F., Cambriel E., Couraud L., and Launois H., "Nanoimprint lithography for a large area pattern replication," *Microelectronic Engineering*, vol. 46, issue1-4, pp. 319-322, 1999.

[4] Cambell M., Sharp DN., Harrison MT., *et al.*, "Fabrication of photonic crystals for the visible spectrum by holographic lithography," *Nature*, vol. 404, issue 6773, pp. 53-56, Mar. 2000.

[5] Y. Chen, Y. Shroff, and W. G. Oldham, "Modeling and control of nanomirrors for EUV maskless lithography," *Technical Proc. Int. Conf. Modeling and Simulation of Microsystems*, pp. 602-604, San Diego, CA, Mar. 2000.

[6] Marc J. Madou, *Fundamentals of microfabrication the science of miniaturization* 2nd ed. (CRC press, Florida, USA, 2002), pp. 22-28.

[7] Clube F., Gray S., Struchen D., Tisserand J. C., Malfoy S., and Darbellay Y., "Holographic microlithography," *Opt. Eng.*, vol. 34, no. 9, pp. 2724-2730, Sept. 1995.

[8] Dandliker R. and Brook J., "Holographic photolithography for submicron VLSI structure," *Holographic Systems, Components and Applications*, 1989., Second International Conference on 1989, pp. 127-132, 1989.

[9] Ross I. N., David G. M., and Klemitz D., "High-resolution holographic image projection at visible and ultraviolet wavelengths," *Appl. Opt.*, vol. 27, no. 5, pp. 967-972, 1988.

[10] Ehbets P., Herzig H. P., and Clube F., "High-carrier-frequency fan-out gratings fabricated by total internal reflection holographic lithography," *Opt. Eng.*, vol. 34, no. 8, pp. 2377-2383, 1995.

[11] H. J. Coufal, *et al.*, *Holographic data storage* (Springer series in optical sciences, New York, USA, 2000), pp. 7-9.

[12] J. H. Hong, I. McMichael, and T. Y. Chang, "Volume holographic memory systems: techniques and architectures," *Opt. Eng.*, vol. 34, no. 8, pp. 2193-2203, 1995.

[13] Fai H. Mok, "Angle-multiplexed storage of 5000 holograms in lithium niobate," *Opt. Lett.*, vol. 18, no. 11, pp. 915-917, 1993.

Image Stitching and Seamless Holographic Photo-Lithography for Large-Area Patterning

Joon-Sub Lee, Woo-Jae Park, Jiwhan Lee, and Soek Ho Song[†]

Department of Physics, Hanyang University, 17 Haengdang-dong, Seongdong-gu, Seoul 133-791, Korea

[†]*E-mail: shsong@hanyang.ac.kr*

Sungjin Lee[‡] and Oui Serg Kim

Mechatronics & Manufacturing Tech Center, CTO, Samsung Electronics, 416 Maetan-dong, Youngtong-gu, Suwon 443-370, Korea

[‡]*E-mail: sungjlee@samsung.com/elite87@yahoo.com*

(Received December 1, 2008; Revised manuscript January 19, 2009; Accepted January 21, 2009)

In this study, we propose an image stitching method for large-area holographic photo lithography. In this method, a hologram medium become a hologram mask for lithography. And the mask has information for stitched images. These images are recorded by signal images which are controlled with DMD (digital micro-mirror device), and serial hologram recording is achieved with a motorized linear stage. Using this method, fringe seams appear on the stitching area. To remove these fringe seams, double exposure holographic lithography is tried. Each stitched image is recorded and reconstructed with a different reference beam. The experiments confirm that fringe seams are removed.

OCIS codes: (110.5220) photolithography; (110.0110) imaging systems; (090.4220) multiplex holography