

초점 모니터 방법을 이용한 레이저 Lithography 장치의 제작과 응용

이도형, 송재원, 손현
경북대학교 전자공학과

Construction of Laser Lithography System using Method of Monitoring the Focal Point

Do Hyung Lee, Jae Won Song and Hyun Son
Department of Electronics, Kyungpook National University

Abstract

This paper represents the construction of laser beam writing system, laser lithography, using new method that guarantees convenience and accuracy in laser focusing. The X,Y translation stage using DC motors was controlled by the computer. Minimum line width of 1.6 μ m was obtained by the laser lithography system.

1. 서론

최근 광 집적회로는 광통신, 광 신호 처리 등 여러 분야에 사용되면서 눈부신 발전을 거듭해 왔다. 급속히 늘어나는 정보량을 소화해 내기 위하여 다양한 종류의 광 집적회로가 제안되고 이와함께 필연적으로 광소자 제작에 편리한 마스크패턴 제작방법이 필요하게 되었다[1-3]. 일반적으로 반도체 소자의 마스크 패턴 제작에 많이 쓰이는 방식은 photolithography, E-beam lithography, X-ray lithography 방식 등이 있다. 집적 광소자에 필요한 대부분의 광도파로 소자들은 보통의 전자 집적회로와는 달리 한 방향으로는 수 μ m 정도만 작고 다른 방향으로는 몇 cm 단위의 크기를 가진다. Photolithography 방법은 고해상도의 광소자 제작이 어렵다. 또한 소자의 길이비 차이가 너무 많이 나면 마스크의 축소 제작 과정에서 왜곡이 생길 수 있으므로 광소자 제작 공정에 적합하지 않다. 그에 반해 E-beam lithography는 고해상도 마스크를 얻을 수 있으나 많은 경비와 값비싼 장비가 필요하다[4,5]. 위의 방법들에 비해 레이저 lithography 방법은 값싸고 간단한 장치들로 우수한 광도파로 소자 제작이 가능하다. 이 방법은 1974년 Becker에 의해 처음 제안되었다[6]. 최근 패턴 제작의 신뢰성, 용이성 등을 위해 stage를

computer로 제어하는 연구들이 많이 진행되고 있다. 대부분의 레이저 lithography 장치에서는 쉬운 step 모터를 사용하여 이동 stage를 구동하였다. 그로인해 마스크 제작 속도가 느리고 해상도에서 제한되었다[7,8].

본 논문에서는 X, Y축 이동 stage의 구동을 감속 기어가 달린 DC moter를 사용하여 빠른 제작 속도로 우수한 마스크를 단시간에 제작하였다. 이동 stage를 computer로 제어할 수 있는 interface card와 위치 확인 sensor를 제작하여 원하는 광소자의 패턴을 program으로 그려낼 수 있게 하였다. 또한 현미경에 내장된 조명광을 사용하여 깨끗한 상을 확인하는 방법으로 마스크가 형성될 PR표면에 정확히 초점을 맞출 수 있음을 보임으로써 레이저 lithography 과정 중 가장 문제가 되는 초점 문제를 해결하였다. 본 장치를 사용하여 여러 광소자의 패턴을 제작하였다.

II. 레이저 Lithography 장치

본 논문에서 구성된 레이저 lithography 장치는 크게 레이저, spatial filter, 광집속과 모니터를 위한 현미경, stage와 제어부로 구성되었다. 전체적인 레이저 lithography 장치는 그림 1과 같다.

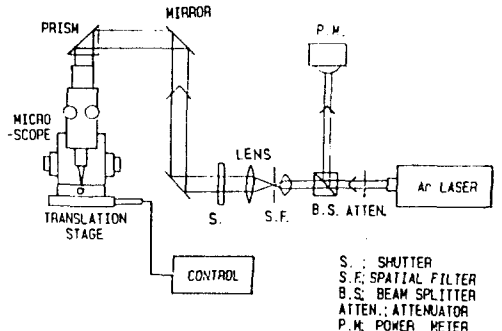


Fig. 1. Laser lithography set-up.

1. 광학 장치

사용된 레이저는 파장이 0.4579 μm 인 Ar-레이저이다. 그림 1에서 두 개의 polarizer로 구성된 광 감쇠기를 통해 나온 레이저 광은 beam splitter를 통과하여 한 쪽은 광 세기를 모니터 할 수 있는 power meter로 들어가고 다른 쪽은 spatial filter를 통하여 초점거리 10mm인 렌즈에 의해 폭이 8mm로 확장된다. 이 beam은 두 개의 거울을 거쳐 직각 프리즘에 의해 현미경에 수직으로 입사된다. 광집속에서 사용된 렌즈는 10x 대물 렌즈이고 초점거리 f 는 16.9mm이다. 수직 이동이 가능한 대물 렌즈는 레이저 beam을 집중하여 그림 2와 같이 광조사 sample 위에 도포된 PR의 표면에 정확히 초점을 맞추어 준다. 그후 하단에 위치하는 x, y, θ 3방향의 축을 원하는 방향으로 이동시켜 줌으로써 mask 패턴을 형성한다. 광 집속 모니터를 위한 대안 렌즈는 편리를 위해 20x, 7x 각각 한 개씩 사용하였다.

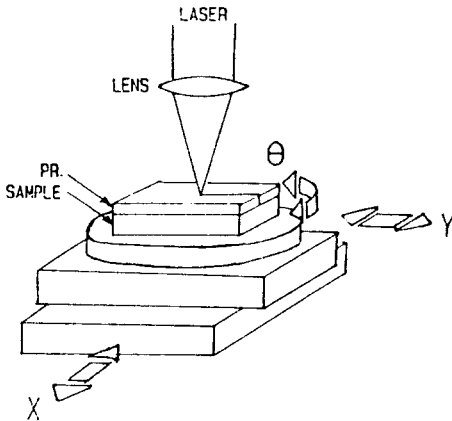


Fig. 2. Configuration of translation stages.

2. DC motor stage 제어 장치

근래 수년간 구동 stage의 모터로 단지 제어가 간편하다는 이유만으로 step모터가 많이 사용되었다. 하지만 갈수록 미세하고 정교한 이동이 필요하게 되고 이로인해 step모터의 진동과 약한 내구성이 큰 문제점으로 나타났다. 이런 이유로 광 산업이나 반도체 작업에 DC모터의 이용이 늘고 있다. DC 모터와 step모터의 특성 비교를 표 1에 보았다[9]. 또한 정교한 제어를 위해 computer와의 interface가 필요하게 되었다. 위와 같은 이유로 본 실험에서도 DC모터를 장착한 stage의 computer interface에 대해 연구하였다.

표 1. Comparison DC motor and step motor.

특성	DC motor	step motor
속도	선형적 변화 가능	step 주파수에 비례 (제한적)
크기	직경이 작다	직경이 크다
진공 적응력	좋다	나쁘다
진동	거의 없다	심하다
위치 제어	어렵다	쉽다

본 논문에서 구성된 Stage제어 장치의 구성은 크게 computer, interface card, driver, 위치표시기 등 4부분으로 나누어진다. Stage 제어 장치 구성도는 그림 3과 같다. 본 실험 장치의 X, Y 구동 stage(NRC 860)는 높은 정밀도를 가진 DC 모터를 장착하고 있다. 사용된

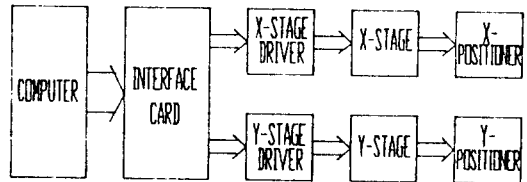


Fig. 3. Configuration of stage controller.

computer는 IBM PC-XT 이다. 두개의 DC모터를 제어하기 위해서는 최소한 6개 이상의 제어선이 필요하다. IBM PC-XT 에서 정해진 768개의 I/O address 중 하나의 address를 선택하고 그 address로 8 bit의 data를 전송하여 쓸 수 있게 된다. 본 실험에서는 prototype card에 할당된 (HEX)31F 번지의 address를 사용하였다[10]. 컴퓨터에서 출력된 8 bit의 data는 그림 4와 같이 할당하였다. 본 실험에서 각 data bit의 제어에 사용된 언어는 C 언어이다.

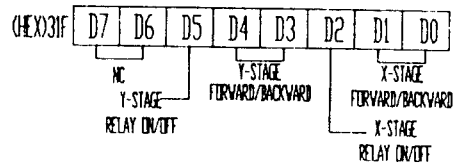


Fig. 4. Control data bit format.

그림 5는 제작된 driver와 위치표시기이다. 그림 5의 회로는 X, Y속 stage에 각각 하나의 필요하다. Computer로부터 하나의 stage로 출력된 3개의 data 중 2개의 data는 analog mux.로 입력되어 전진과 후진을 선택한다. 위쪽에 주어진 전압을 변화시킴으로써 구동되는 stage의 속

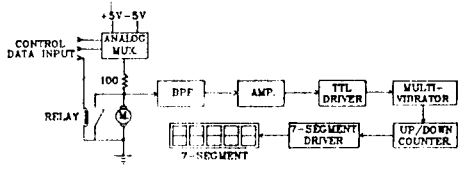


Fig. 5. Stage driver and position sensor.

도를 바꾸어 줄 수 있다. 나머지 하나의 data는 모터가 정지할 때 생기는 미끌림을 막기 위한 페치로 구성을 목적으로 연결된 relay의 ON/OFF을 제어한다. 제작된 위치 표시기는 모터가 구동할 때 유기되는 전류의 고저를 적당히 filtering 한 뒤 TTL레벨로 바꾸어 counter에 clock로서 입력시키는 방법을 사용하였다. 모터가 정상 속도로 구동할 때 clock 당 이동 거리는 약 0.25 μ m이었다.

III. 패턴 제작

1. 제작 과정

레이저 lithography에 의한 패턴 제작 과정을 그림 6에서 보여준다.

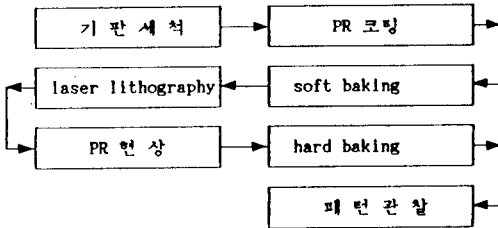


Fig. 6. Flow chart of construction of mask pattern using laser lithography.

Soft baking이 끝난 시편에 집속된 레이저 광 세기를 1.4 μ W에서 8.7 μ W까지 변화시키고 노광속도는 50 μ m/sec에서 300 μ m/sec까지 변화시켜 노광을 행하였다. 입사된 레이저가 렌즈에 의해 시편 표면 위에 정확히 초점이 잡히는 지를 현미경에 내장되어 있는 할로겐 램프를 사용하여 알 수 있다. 그러나 할로겐 램프가 백색광이어서 PR을 노광시킬 수 있으므로 노란색 광필터를 사용하여 이를 방지하였다. 이 조명광에 의한 초점과 레이저광의 초점을 비교하면서 실험하여 결과를 확인하여 보았다. 그 결과 일반적으로 말하는 현미경의 초점이 맞은 상태, 즉 관찰하고자 하는 목적물이 선명히 보일 때가 레이저광 또한 초점이 정확히 맞은 상태라는 것을 알 수 있었다.

2. 제작 결과

그림 7과 같이 레이저 광의 중심이 정확히 집속 렌즈의 중심과 일치하고 수직으로 입사한다고 가정할 때 광의 최소 집속 반경 W_0 는 식(1)과 같이 주어지며, 집속 길이 ΔZ 는 식(2)로 주어진다. 여기서 광의 세기 분포는 Gaussian으로 가정되었다[11].

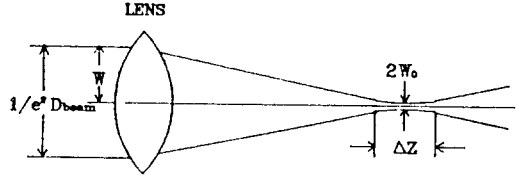


Fig. 7. Focusing of the laser beam.

$$W_0 \approx \frac{4\lambda f}{3\pi W} \quad (1)$$

$$\Delta Z \approx \pm \frac{0.32\pi W_0^2}{\lambda} \quad (2)$$

본 논문에서 사용된 레이저 파장 $\lambda = 0.4579\mu$ m이며, 집속 렌즈 초점 거리 $f = 16.9$ mm, 빔 반경 $W = 4$ mm이다. 계산된 최소 선폭 $2W_0 \approx 1.64\mu$ m이며, 집속 길이 $\Delta Z = 2.9\mu$ m이다. 실험에서 얻은 노광 속도에 대한 선폭의 변화를 그림 8에 나타내었다. 계산된 이론치와 본 실험에서 얻어진 결과를 비교해 볼 때, 최소 집속 직경의 이론치와 구동 속도 50 μ m/sec일 때의 선폭이 거의 이론치에 가깝거나 심지어 더 가늘게까지 노광이 가능하였음을 확인할 수 있다. 노광 속도 300 μ m/sec 이상에서는 레이저의 power에 관계

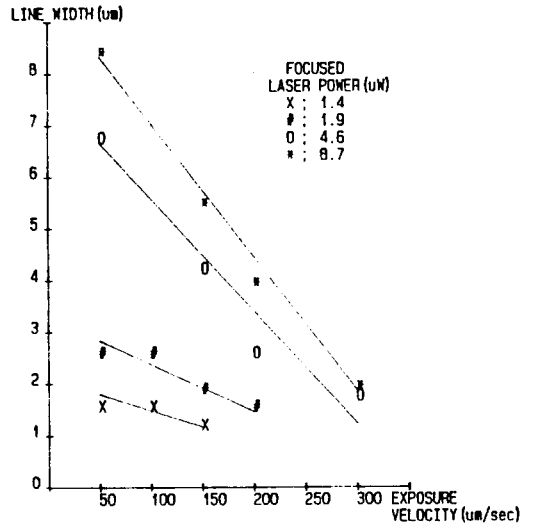


Fig. 8. Line width versus exposure velocity for focused laser power.

없이 거의 일정한 선폭을 얻을 수 있었다. 또한 식 (2)에서 구한 광의 집속 깊이가 코팅된 PR두께의 3배가 넘으므로 lithography 과정에서 노광된 모서리 부분은 수직에칭이 되었으리라 예상된다. 그림 9와 같이 입사 레이저 power에 대한 선폭의 변화를 살펴보면 레이저 power 증가에 대해 선폭의 증가는 포화됨을 알 수 있다. 그림

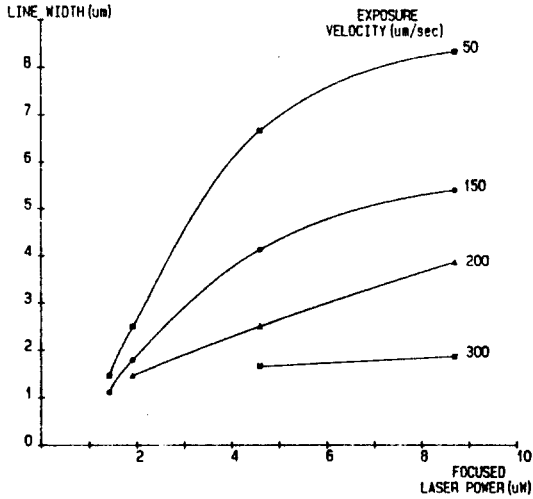


Fig. 9. Line width versus focused laser power for the exposure velocity.

10과 그림 11에서 제작된 마스크 패턴 거칠기는 육안으로 확인할 할 수 없을 정도로 작음을 알 수 있다.

3. 레이저 Lithography 응용

본 논문에서 제작된 레이저 lithography 장치를 이용하여 광소자의 패턴을 그려보았다. 그림 10은 X-형 광도파로용 패턴이고, 그림 11은 Y 분기형 광도파로용 패턴이다.



Fig. 10. Pattern of the X-type waveguide (60x, angle 0.5°).

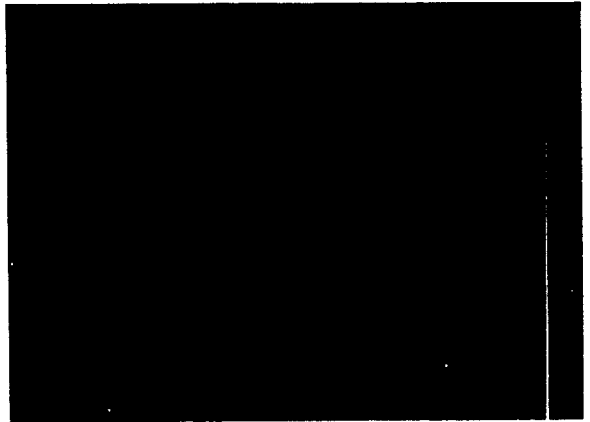


Fig. 11. Pattern of the Y branch waveguide (60x, angle 1°).

V. 결 론

본 논문에서는 현미경을 이용하므로써 쉽고 정확하게 초점을 찾을 수 있는 레이저 lithography 장치를, DC모터가 장치된 X, Y stage를 이용하여 구현하였다. 구현한 장치로 X, Y stage의 속도 와 Ar-레이저의 세기를 달리하여 선폭에 대한 결과를 구하였고 레이저 세기 1.4uW, 노광속도 50um/sec에서 거의 이론치에 가까운 선폭 1.6um를 얻음으로서 본 논문에서 제안한 레이저 lithography 장치로 실제 광소자 제작이 가능함을 보였다. 또한 X, Y속 stage를 computer로 제어할 수 있는 interface card와 stage의 위치 sensor를 제작하였다. 제작된 장치로 X-형 광도파로, Y 분기형 광도파로의 패턴을 제작해 보였다.

참 고 문 헌

1. E. Voges and A. Neyer, "Integrated-optic devices on LiNbO₃ for optical communication," J. Lightwave Technol., Vol. LT-5, 1229-1238, 1987.
2. R. C. Alferness, "Guided-wave devices for optical communication," IEEE J. Quantum Electron., Vol. QE-17, 946-959, 1981.
3. L. Thylen, "Integrated optics in LiNbO₃ : Recent developments in devices for telecommunication," J. Lightwave Technol., Vol. LT-6, 847-860, 1988.
4. S. M. Sze, VLSI Technology, McGraw-Hill International Co., 267-300, 1983.

5. D. J. Elliott, Integrated circuit fabrication technology, McGraw-Hill International Co., 43-163, 1982.
6. R. A. Becker, B. L. Sopori, and W. S. C. Chang, "Focused laser lithographic system," Appl. Opt. 17, 1069, 1978.
7. K. E. Wilson, C. T. Mueller, and E. M. Gamire, "Laser Writing of Masks for Integrated Optical Circuits," IEEE Trans. Components, Hybrids, Manuf. Technol. CHMT-5, 202, 1982.
8. M. Haruna, S. Yoshida, H. Toda, and H. Nishihara, "Laser-beam writing system for optical integrated circuits," Appl. Opt. 26, 4587, 1987.
9. Hans E. Bannies, "DC motors bring advantages to positioning," LASER FOCUS WORLD, SEPT., 140 -142, 1989.
10. IBM, PC-XT Technical reference, April, 1983.
11. MELLES GRIOT, Optics Guide 4, 17-19, 1988.