

광도파로 소자 제작을 위한 레이저 리소그래피 장치

박경현 · 변영태 · 김명욱 · 김선호 · 최상삼

한국과학기술연구원 정보전자연구부

조옥래 · 박승한 · 김 응

연세대학교 물리학과

(1996년 11월 5일 받음)

가로·세로의 비가 큰 광도파로 소자 제작용 마스크 제작에는 레이저 리소그래피 장치가 기존의 리소그래피 장치에 비해 비용면 등을 고려하면 많은 장점을 가지고 있다. 레이저 리소그래피 장치를 이용 보편적인 양극형 마스크는 물론 기존의 레이저 리소그래피 장치로는 제작하기에 많은 어려움이 있는 음극형 마스크를 포토레지스트의 인위적 변화를 이용 제작할 수 있었다. 제안된 방법은 주변환경 즉 먼지, 장치의 진동 그리고 레이저 입사광 변화 등에 기존의 장치 보다 덜 민감함을 실험적으로 확인하였다. 이 방법을 이용 광도파로 소자의 기본을 이루는 S형태 곡선으로 구성된 광분배기 패턴을 제작하였으며, 제작된 패턴의 대비 및 재현성에 있어서 그 특성이 매우 우수함을 실험적으로 확인하였다.

I. 서 론

리소그래피는 광원의 종류에 따라 수은등을 사용하는 광 리소그래피(Optical lithography), 전자를 이용하는 전자빔 리소그래피(e-beam lithography) 그리고 요즘 가장 많이 연구에 박차를 가하고 있는 X선 리소그래피로 대별할 수 있다. 여러 종류의 리소그래피 발전은 보다 고집적화를 목적으로 하는 전자 집적회로에 근원을 갖고 있다. 가장 많이 사용되어지고 있는 전자빔 리소그래피를 이용하여 0.1 μm 대의 패턴 폭을 갖는 마스크를 제작할 수 있으나, 제작된 마스크를 이용 대량생산의 기본인 복제 과정에서 노광원의 회절 제한으로 인하여 0.3 μm 이하의 패턴 폭을 제작할 수가 없다. 기존의 수은등을 대체할 수 있는 Excimer 및 X-선을 이용한 리소그래피의 발전에 많은 연구가 있어 왔다.^[1,2] 광 집적회로를 제작하기 위해서는 전자 집적회로의 제작과 마찬가지로 광 집적회로의 패턴을 갖는 마스크의 제작이 필수적이나, 전자 빔 리소그래피 장치는 가로·세로의 비가 같은 전자 소자에 대하여 제한적이고 그 가격이 고가라는 점에서 일반적인 활용에는 많은 어려움이 있다. 최근 몇몇 연구자에 의해서 레이저 리소그래피 장치가 광도파로 소자 패턴 제작에 매우 유용함이 입증되었다.^[3,4]

본 논문에서는 전자 집적회로와는 달리 선폭은 수 μm 규모이나 길이가 수 mm에 이르는 가로·세로의 비가 크게 다른 광집적회로 제작용 마스크 제작에 유리한 레이저 리소그래피 장치를 이용 양극형 마스크 및 기존의 레이저 리소그래피 방법으로는 제작하기에 많은 어려움이 있는 음극형 마스크 제작과 그 특성을 서술하였다.

II. 레이저 리소그래피 장치

레이저 리소그래피 장치는 그림 1에서 보듯이 파장 442

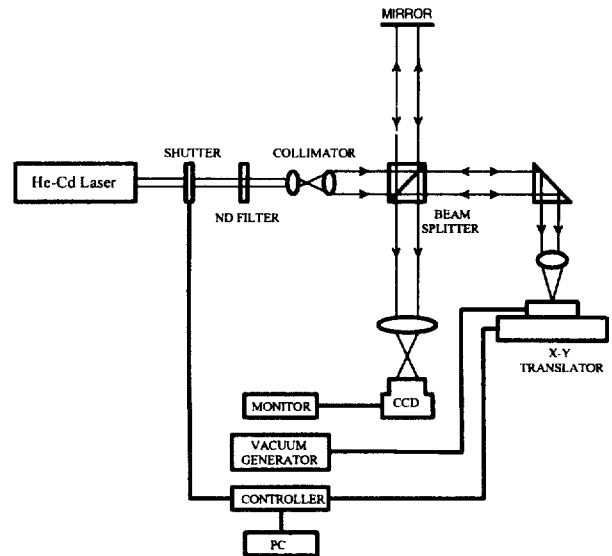


그림 1. 레이저 리소그래피 장치 구성도.

nm인 He-Cd 레이저와 빔을 제어하는 광학계, 그리고 스텝 모터 구동 스테이지로 구성되어 있으며, GPIB(General Purpose Interface Board)인 IEEE488 보드를 사용하여 x-y 미세 이동대(translational stage)의 제어기와 IBM PC를 연결(interface)하였다. 파장 442 nm이고 출력 파워가 15 mW인 He-Cd 레이저는 미국 Omnicrome사의 제품을 사용하였으며, x-y 미세 이동대는 프랑스 Microcontrol사의 MT-160기종을 사용하였다. 미세 이동대의 스텝핑 모터 최소 분해능은 0.1 μm 이고, 이동 가능 거리는 10 cm이며 스텝핑 모터와 구동장치는 Microcontrol사의 TL79와 IP28을 각각 사용하였다. 스테이지의 이동시 야기될 수 있는 진동으로부터 시료가 흔들리지 않게 하기 위하여 100 mT의 압력을 유지할 수 있는 Diaphragm 펌프

를 사용하여 진동 및 장치의 크기를 줄일 수 있었다.

레이저 리소그래피 장치에서 가장 중요한 것은 정확한 초점을 찾는 것으로 기존의 레이저 리소그래피 장치와는 달리 간섭계를 구성하여 매우 정확한 초점의 위치를 찾을 수 있었다. 그것의 원리는 기판에서 반사된 반사파와 기준파의 간섭으로 그림 1의 스크린을 통하여 간섭무늬를 확인하는 것으로, 초점을 이루지 못하였을 때의 반사파의 형태는 발산 및 수렴 형태의 파원을 가지며 간섭 무늬는 각각 이 부호의 값을 갖는 호가된다. 정확한 초점의 경우 입사파와 반사파가 같은 형태의 파이어서 간섭 무늬는 직선의 형태가 되어 간섭 무늬의 확인으로 정확히 초점 위치를 찾을 수 있다.^[5] 입사량을 조절하기 위해서 neutral density filter를 사용하였는데, 그 이유로는 광량을 조절하기 위하여 광변조 하였을 때는 변조된 파형의 찌그러짐과 무엇보다도 필터를 사용하였을 때는 가격이 저렴하고 광정렬이 쉽다. 입사광의 크기는 최소 선폭에 영향을 미치고, 보다 넓은 입사광의 크기를 위하여 개구수(Numerical Aperture)가 각각 0.15, 0.45인 대물렌즈를 사용하였으며, 공간 필터링에 필수적인 핀홀은 진동에 의한 입사 광량의 변화를 고려하여 사용하지 않았다. 다섯 개의 무반사 코팅된 프리즘을 통과한 입사광은 마스크 표면과 수직으로 장착되어 있는 개구수 0.65와 최소선폭 0.41 μm 를 가지는 대물렌즈를 통하여 정확히 시료 위의 초점면에 조사되어 포토레지스트가 도포된 시료를 노광시킨다. 조사된 광의 정렬 상태는 시료 표면에 형성된 패턴의 대비에 많은 영향을 미침으로 레이저 리소그래피 장치의 광정렬은 매우 중요하다. 패턴을 제작할 기판에 레이저 리소그래피 장치를 이용 빛을 노광하면 원하는 형태의 패턴을 제작할 수 있다. 리소그래피 공정에서 필수적인 마스크 제작이 매 시료마다 레이저 빔을 직접 조사하는 방법보다 공정시간을 줄일 수 있어 레이저 리소그래피 장치를 이용 마스크를 제작하였고 제작된 마스크를 이용 광도파로 소자를 제작할 수 있었다.

III. 실험 및 결과

광소자를 제작하기 위하여서는 용도에 따라 양극 및 음극 마스크가 필수적이다. 레이저 리소그래피 장치를 사용하여 제작된 양극형 마스크는 다음과 같은 공정 순서를 가진다

가) 원하는 마스크의 패턴에 대한 프로그램을 컴퓨터에 입력시킨다.

나) 크롬이 코팅된 유리 기판(일본 Toppan사의 photomask blank)에 분당 회전수 5000으로 포토레지스트를 스핀 도포하고, 포토레지스트의 솔벤트 제거 및 성질의 변화를 막기 위하여 85°C의 온도로 오븐 속에서 15분 동안 구웠다.

다) 나)의 과정을 거친 기판을 스테지에 진공을 이용 장착하고 프로그램 형태로 x-y스테지를 움직이면서 He-Cd레이저의 빛을 노광을 시킨다.

라) 빛을 받은 부분은 현상시 포토레지스트가 제거되어 크롬 코팅면이 노출되고, 이 부분을 크롬 식각액에 담그면 제거된다. 그런 후 나머지 포토레지스트를 제거하면 입력된 패턴의 형태를 가진 마스크를 제작할 수 있다. 그림 2은 위의 공정

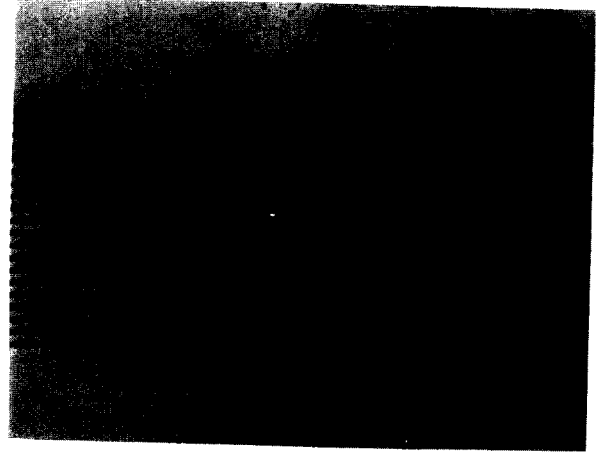


그림 2. 레이저 리소그래피 장치를 사용하여 제작된 양극형 마스크 패턴.

을 거쳐 제작된 폭 5 μm 의 직선들의 마스크 패턴을 나타낸다. 그림 2와 같은 빛을 받은 부분의 영역이 창을 가지는 마스크 제작에는 세심한 주의를 기울여야 한다. 입사광의 크롬 코팅 면에서의 반사는 형성된 패턴 폭의 확대 원인이 된다. 이를 줄이기 위해서 아주 낮은 입사광량을 사용하여야 하고, 이로 인해 전체 광정렬의 흐트러짐에 선폭이 민감하게 반응하여 제작 장소의 진동 및 먼지 등에 제작된 패턴의 완성도가 상당한 영향을 받아 재현성에서 많은 어려움을 겪게 된다. 또한 위와 같은 양극형 마스크를 사용 광도파로 소자를 제작하려면 도파로 소자의 방향을 결정하는데 접촉식 노광기(Contact Aligner) 사용시 많은 어려움이 있다. 현재 사용되고 있는 대부분의 포토레지스트는 빛을 받은 부분이 현상시 제거되는 양극형(Positive tone) 포토레지스트를 사용하고 있어 위의 공정을 거친 마스크로 광도파로를 제작하기 위해서는 음극형, 즉 마스크의 크롬 식각된 부분이 남아 있는 부분보다 훨씬 많은, 마스크를 이용 도파로를 제작하면 리소그래피 과정에서 매우 유용하다.

음극형 마스크를 제작하는 방법으로는 Image Reversal Technique, negative PR, 금속 lift-off 등이 자주 사용된다. Image Reversal Technique^[6]은 비교적 최근에 개발된 Image Reversal 전용 포토레지스트를 이용 마스크의 상을 변화시키는 기술로 빛을 받은 부분이 열처리로 인해 cross-linking현상이 일어나고, 그 외의 다른 부분은 본연의 성질을 가지고 있어 자외선으로 노광하면 현상시 제거되어 노광시 사용한 마스크와는 다른 상의 마스크를 제작할 수 있다. 이런 용도로 AZ 5200계열의 포토레지스트가 판매되고 있고 비교적 가격이 비싸다는 것을 제외하고는 아주 좋은 특성을 가진 포토레지스트이다. 음극형 포토레지스트를 사용하여 음극형 마스크를 제작할 수 있으나, 음극형 포토레지스트의 분자가 큰 것에 기인하여 최소 선폭에 제한을 가지므로 대체로 3 μm 이하의 선폭을 요구하는 광도파로의 단일모드 조건을 충족시킬 수 없어 음극형 포토레지스트의 사용은 좋은 방법이 아니다. 또한, Metal lift-off 기술은 쉽게 제작할 수 있는 방법이지만 마스크 상의 결함을 만들 가능성이 있으므로 좋은 방법이 아니다. 이

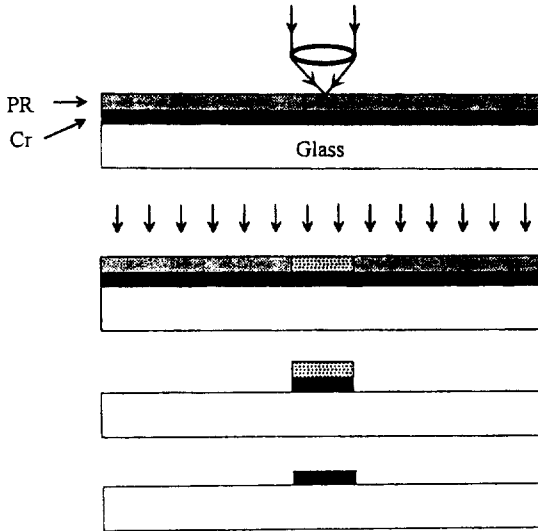


그림 3. 레이저 리소그래피 장치를 사용한 음극형 마스크 제작 순서도 (a) 노광, (b) Flood Exposure, (c) 현상 및 크롬 식각 과정, (d) 포토레지스트 제거.

상과 같이 마스크의 상을 변환시키는 방법이 있으나 그 자체의 어려움 및 결함이 있어 마스크의 상을 변환하는 문제는 매우 중요한 사항이다.

대부분의 포토레지스트는 몇몇의 과정으로 포토레지스트의 성질을 잃는 cross-linking 성질을 가지고 있다.^[7] 예를 들면, 전자 빔 리소그래피에 사용되는 포토레지스트로 잘 알려진 PMMA (polymethyl methacrylate)는 전자에 의해 cross-linking되어 현상시 전자빔이 조사되지 않은 부분이 제거되어 음극형 마스크를 제작할 수 있다. 광 리소그래피용 포토레지스트는 깊은 자외선이나 열처리 등으로 위의 현상이 일어난다는 것이 잘 알려져 있다. 파장 442 nm인 He-Cd레이저를 사용하였을 때 입사광이 3 mW이상인 경우 cross-linking 현상이 일어남을 실험적으로 확인하여, 이 방법을 음극형 마스크 제작에 활용하여 아주 우수한 특성을 가진 마스크를 제작할 수 있었다.

음극형 마스크의 제작 과정을 그림 3에 보였다. 크롬 코팅된 기판에 양극형 포토레지스트인 AZ1505를 회전 도포법으로 코팅하여 기판을 준비하고 준비된 기판을 레이저 리소그래피 장치에 장착하여 미리 프로그램 되어 있는 패턴 형태에 따라 입사광을 조사시키면 빛을 받은 부분은 포토레지스트의 성질을 잃게 된다. 빛을 받은 이외의 부분은 여전히 양극형 포토레지스트의 성질을 가지고 있어 자외선 램프를 사용, 전 면적을 35초간 조사시킨 후 현상하면 레이저 빛을 받지 않은 부분의 포토레지스트는 제거된다. 그런 후 표면에 노출된 크롬층을 식각 하면 빛을 받은 부분만이 크롬이 남아 있는 음극형의 마스크를 제작 할 수 있다. 이 방법의 가장 중요한 것은 레이저 빛을 받은 부분의 포토레지스트를 제거하는 것으로 두 가지 방법을 병행 사용하였다. 비교적 입사 에너지가 작은 경우 성질이 변한 포토레지스트는 아세톤 초음파 세척으로 쉽게 제거할 수 있으나, 높은 에너지에 의해 변형된 포토레지스트는 솔벤트에 의해 쉽게 제거 될 수 없다. 이

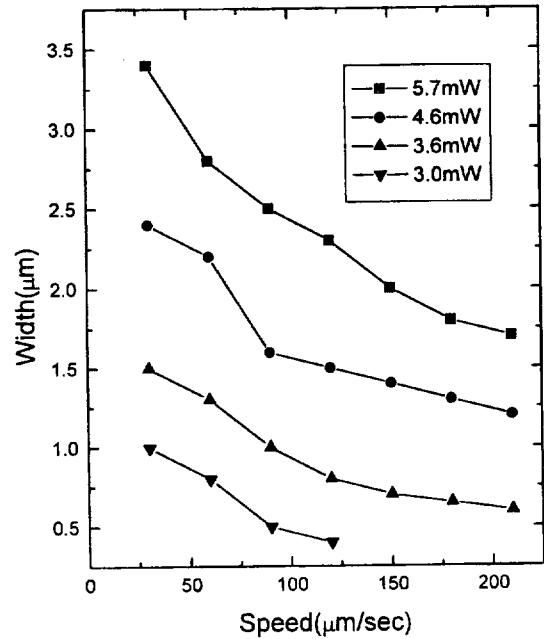


그림 4. 입사광의 세기에 따른 제작된 패턴의 선폭 변화.

를 위하여 RIE(Reactive Ion Etching)장치를 사용 아주 깨끗이 제거할 수 있었고, 그때의 조건은 동작 압력 100 mT를 유지하였고, 활성 가스인 산소를 5 cm³min⁻¹식각 장치에 주입하였으며, RF 파워 0.71 W/cm²의 조건으로 3분간 식각 하였다. 식각시 self bias는 -235 V이었다. RIE장치를 이용한 방법이 포토레지스트의 제거에는 보다 효율적임을 실험으로 확인하였다.

레이저 리소그래피 장치를 이용한 음극형 마스크의 제작에는 아주 많은 장점이 있다. 입사광의 세기의 변화에 대해 영향을 적게 받는다는 것과 인위적으로 포토레지스트를 변화시키므로 먼지나 장치의 진동에 영향을 적게 받는다는 점은 매우 중요한 장점이다. 그림 4는 입사광인 He-Cd레이저 광의 입사 세기 및 미세 이동대의 속도에 대해 제작된 패턴 폭에 관하여 SEM사진으로 조사한 것으로, 입사렌즈 전에서 측정 한 입사 에너지가 크면 클수록 보다 넓은 선폭이 형성되었음을 그림 4에서 확인 할 수 있다. 입사광이 3.6 mW이하의 경우 1 μm이하의 선폭 을 제작할 수 있으나, 포토레지스트의 변화 정도가 작아서 현상시 주의하여야 하고 미세 이동대의 이동 변이에 민감히 영향을 받는 미세선폭 제작에는 미세 이동대의 이동 속도를 낮추어야 한다. 레이저 리소그래피 장치를 이용하여 광도파로 패턴등 여러 형태의 패턴을 제작 할 수 있었다. 도파로와 광파이버의 연결을 고려하면 직선 도파로 간의 상호 연결을 도파광의 발산 손실을 최소화하기 위하여 s형태의 곡선 도파로는 매우 중요한 광도파로 소자이고, 높이 h, 길이 L로 구성된 궤적 식은 다음과 같다.

$$y = \frac{x}{L} - \frac{h}{2} \pi \sin(2\pi x/h)$$

위 관계식의 궤적을 가지는 곡선 도파로 형태를 기본으로 하는 도파광의 세기를 나눌 수 있는 Y-branch 패턴^[8]을 제작

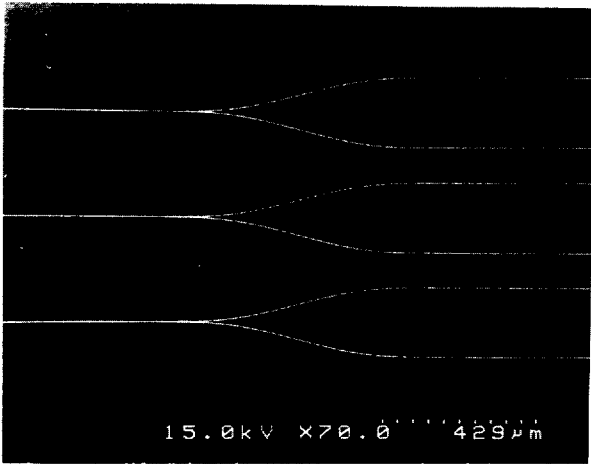


그림 5. 제작된 음극형 마스크의 Y-branch 패턴의 SEM 사진.

하였고, 음극형 형태로 제작된 패턴의 SEM(Scanning Electron Microscope)사진을 그림 5에 보였다. 아주 매끄러운 형태의 곡선 도파로 패턴을 제작하기 위해서 곡선 부분의 변화를 매우 미세한 부분으로 나누어 적절히 조절된 두 축의 미세 이동 장치의 속도로 많은 데이터를 입력하여야 한다. 기존의 CAD 프로그램을 이용한 마스크 제작에 비해 인위적으로 데이터 양을 결정할 수 있어 곡선 형태의 패턴 제작에는 자체 제작된 레이저 리소그래피 장치가 많은 장점을 가지고 있다.

IV. 결 론

기존의 전자 소자 제작용 리소그래피 장치는 제작 형태가 정방향인 전자 소자에 목적을 두고 있어 가로·세로 비가 큰 광도파로 제작용 마스크 제작에는 비효율적이다. 광도파로 제작에 그 유용성이 입증된 레이저 리소그래피 장치를 제작, 광도파로 소자 제작에 필요한 마스크를 제작하였다. 그러나 제작된 마스크는 양극형의 마스크 제작에 국한되었고 광정렬 및 외부 진동에 민감하여 재현성에 문제가 있음을 확인하였다.

레이저 리소그래피 장치를 이용한 기존의 마스크 제작법의 한계를 극복할 수 있는 새로운 마스크 제작법을 제안하였고, 레이저 리소그래피 방법을 이용해 제안된 방법의 우수성을 실험적으로 확인하였다. 제안된 새로운 마스크 제작법으로 제작된 마스크는 보다 좋은 대비를 가졌고, 비교적 높은 입사광의 세기를 사용함으로 표면에서의 반사광에 의한 패턴의 확대 현상을 제거할 수 있었다. 또한 먼지 및 외부 진동 등에 대하여 영향을 적게 받아 마스크 제작시 중요한 재현성의 문제에 있어서 탁월한 효과가 있었다. 기존의 레이저 리소그래피 장치를 이용 마스크를 제작하려면 고정도의 광정렬, 안정적인 광 출력 보장, 먼지 및 진동으로부터 자유로운 장치를 제작하여야 하고, 또한 광도파로 제작에 있어서 매우 중요한 음극형 마스크를 제작 할 수 없다는 점이 단점이었다. 그러나 위의 단점을 새로이 제시된 방법을 이용 매우 좋은 대비를 가지고 먼지등 외부 환경에 영향을 덜 받는 마스크를 제작 할 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] P. Michaloski and P. Dewa, SPIE 998, 38 (1988).
- [2] M. P. Lepselter and W. T. Lynch, *VLSI Electronics Microstructure Science*, Vol 1, edited by Norman G. Einspruch (Academic Press Inc., New York, 1981).
- [3] K. E. Wilson, C. T. Miller, and E. M. Garmire, IEEE Trans. on components, hybrid, and manufacturing techn. CHMT-5, 202 (1982).
- [4] M. Haruna, S. Yoshida, H. Toda, and H. Nishihara, Appl. Opt. 26, 4587 (1987).
- [5] 박경현, 변영태, 김선호, 최상삼, 한국 특허 제073984호, (1994).
- [6] V. Marriot, and C. M. Garza, SPIE 771, 221 (1987).
- [7] J. Helbert, *Handbook of VLSI microlithography* edited by W. B. Glendinning, and J. N. Herbert (Noyes, New Jersey, 1991), p. 64.
- [8] G. A. Bogert, and Y. C. Chen, Electron. Lett. 25, 1712 (1989).

Laser lithography system for the fabrication of optical waveguides

K. H. Park, Y. T. Byun, M. W. Kim, S. H. Kim, and S. S. Choi

*Division of electronics and information technology,
Korea Institute of Science and Technology, Seoul 130-650, Korea*

W. R. Cho, S. H. Park, and U. Kim

Department of Physics, Yonsei University, Seoul 120-749, Korea

(Received : November 5, 1996)

Most conventional lithography systems have been oriented to fabricate electronic devices. Therefore, it is not so easy to fabricate large aspect ratios of waveguide patterns with those systems. When considering costs and efficiencies, a laser lithography system provides number of benefit in realizing waveguide patterns. However, because the conventional laser lithography system could make only positive tone masks, it is inconvenient in determining the direction of the waveguide. A simple and reliable technique to produce negative tone masks was developed by using the laser beam writing. This technique was not sensitive to environmental situations such as dust, vibration, intensity variation. Making use of the technique a variety of device patterns such as Y-branch, directional coupler, and highly smooth S-shape bend could be successfully fabricated with a good contrast.