

전자빔 리소그래피를 이용한 주사기법에 따른 패턴형상 조정

오세규⁺, 김승재⁺⁺, 김동환^{*}, 박 근^{**}, 장동영^{***}

(논문접수일 2009. 02. 25, 심사완료일 2009. 11. 03)

Pattern Shape Modulation by Scanning Methods in E-Beam Lithography

Se Kyu Oh⁺, Seoung Jae Kim⁺⁺, Dong Hwan Kim^{*}, Keun Park^{**}, Dong Young Jang^{***}

Abstract

To aim at obtaining a correct and fine small pattern by an electron beam lithography several conditions and methods affecting a real pattern shape needs to be investigated. A micro/nano sized pattern shape is sometimes dependent on the scanning method. In this work, four types of scanning methods are implemented and their characteristics are investigated. For a 11x11um pattern, a Zigzag scanning method proves a precise pattern generation. The other ways such as SEM scanning and swirl in-out scanning method result in some distorted pattern shape. It is proved that abrupt change in the pattern generation limits to obtaining a fine and small pattern.

Key Words : Electron beam lithography(EBL)(전자빔 리소그래피), Pattern shape(패턴 형상), Scanning method(주사 방식), Polymethylmethacrylate(PMMA)(레지스트)

1. 서론

전자빔 가공기술은 1960년대 전후로 개발된 주사전자현미경(SEM)을 기반으로 하며, 최근 나노기술에 대한 관심이 급격히 증가하면서 반도체 공정을 이용한 소자제작 분야에 있어서, 현재 널리 사용되고 있는 광 리소그래피(optical lithography)는 해상도 한계에 도달한 상태이며, 차세대 모

화기술(Next Generation Lithography) 요구에 따라 전 세계적으로 나노임프린트(Nanoimprint), 극자외선(EUV), 전자빔 리소그래피(EBL) 등 차세대 리소그래피에 대한 연구개발이 활성화되고 있는 상태이다.^(1,2) 이미 한계에 다다른 집적화를 해결할 방안으로 전자빔 리소그래피 기술이 중요하게 인식되고 있다.

전자빔 리소그래피는 전자의 에너지를 이용하여 나노크

+ 서울산업대학교 에너지환경대학원 나노아йти공학과

++ 서울산업대학교 나노생산기술연구소

* 교신저자, 서울산업대학교 기계설계자동화공학부 (dhkim@snut.ac.kr)

주소: 139-743 서울시 노원구 공릉2동 172

** 서울산업대학교 기계설계자동화공학부

*** 서울산업대학교 산업정보시스템공학과

기의 패턴을 제작하는 기술로 전자총에서 방출된 전자 빔을 전자기 렌즈(electromagnetic lens)로 집속하고 정밀하게 편향시켜 스캔하는 방식으로 레지스트(PMMA)를 가공한다^(3,4). 이후의 공정은 일반 반도체 공정과 같이 레지스트를 현상하고 습식 또는 건식 방식에 의해 기판을 에칭하거나, 현상된 레지스트 자체를 마스터로 하여 복제하는 방법을 이용한다. 이 전자 빔 리소그래피를 이용한 가공방식은 나노크기의 집속 빔을 원하는 패턴에 따라 하나씩 주사하게 되므로 넓은 면적을 패터닝 하기에는 많은 시간이 소요되므로 공정시간에 덜 구애 받는 반도체 제조용 마스크제작, MEMS 소자 제작, 나노형상의 스탬프 제작 등에 많이 활용 된다⁽⁵⁾.

이러한 전자빔 리소그래피를 이용한 가공에서 고려되어야 할 부분은 가속전압과 선량(dose)에 따른 적절한 주사 방식의 결정이다.⁽⁶⁾ 주사방식이 고려되지 않을 경우에는 패턴의 크기 및 형태를 변화 시킬 수도 있다. 따라서 본 연구에서는 사각형 패턴을 제작할 때에 주사 방식이 패턴의 형상에 미치는 영향을 고려하여 적당한 주사방식에 대하여 살펴보고자 하였다.

2. SEM기반 전자빔 리소그래피 시스템

2.1 시스템 구성

기존의 SEM을 이용하여 전자빔 리소그래피 시스템을 구성하기 위해 패턴 생성기(pattern generator)를 실험 장비에 추가로 장착하였다. NI사의 Digital-Analog Converter를 사용하여 패턴을 생성하기 위한 X, Y 각각의 주사파형을 만들었다. 시스템 구성은 Fig. 1과 같이 하였다.

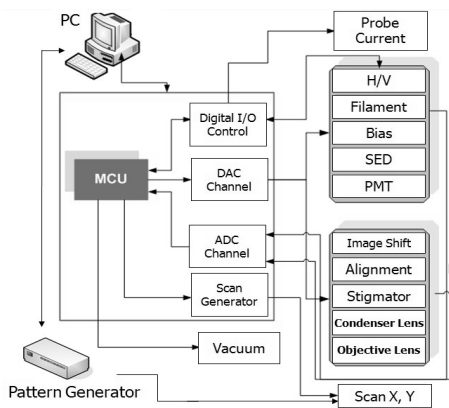


Fig. 1 Pattern generator configuration in a SEM based lithography system

2.2 패턴 생성

일반적으로 전자빔 리소그래피는 래스터 스캔 방식과 벡터 스캔 방식을 이용하는데 이중에 벡터 스캔 방식을 이용하여 패턴을 주사하였다. 벡터 스캔 방식은 빔 차단(beam blanking)이 필수적이거나 SEM은 빔 차단기(beam blanker)가 장착되어 있지 않은 관계로 각 독립된 패턴 영역을 옮겨 갈 때 빠른 전자빔 이동과 중복 경로가 없도록 하여 전자빔의 불필요한 노광을 최소화하는 방법을 사용하였다.⁽⁷⁾

패턴 데이터는 각 시스템에서 고유의 형식(format)으로 변환시키고 이 변환된 패턴 데이터를 신호 생성 라이브러리(signal generator library)를 사용하여 DAC(Digital Analog Converter)보드를 활용한 패턴 생성기로 전자빔의 주사시간 및 위치정보 등을 하드웨어와 연결시킨다. DAC보드와 신호 생성 라이브러리를 활용하여 리소그래피를 위한 정형화된 삼각형, 사각형, 원형 패턴을 생성시킬 수 있다. 또한, 정형화된 패턴을 조합하여 보다 복잡하고 다양한 형태의 패턴을 생성해 낼 수 있고, 픽셀단위로 조정이 가능하여 정형화 된 형상이 아닌 패턴의 생성도 가능하다. 생성된 신호를 가지고 전자총에서 형성된 전자빔이 교차되면서 전자 선원(source)이 일정 모양을 갖는 조리개(aperture)를 빔 경로를 거쳐 노광하게 한다. 편향 가능한 전 지역을 주사하면서 패턴부분에 빔을 어드레스(address)하여 주사하여 패턴을 생성하였다. Fig. 2는 C#.NET을 이용하여 제작한 패턴 생성 소프트웨어이다. Fig. 3은 패턴 생성 소프트웨어의 순서도를 나타낸 것이다.

사각형 패턴 데이터를 생성하는 방법은 전체 필드 영역 내에서 패턴을 묘화할 위치와 패턴의 X, Y 범위를 정하고, 이 때 묘화하는 전자빔 픽셀 하나의 주사시간과 다음 전자빔 픽셀까지의 이동거리를 결정하여 패턴 데이터를 생성한다.

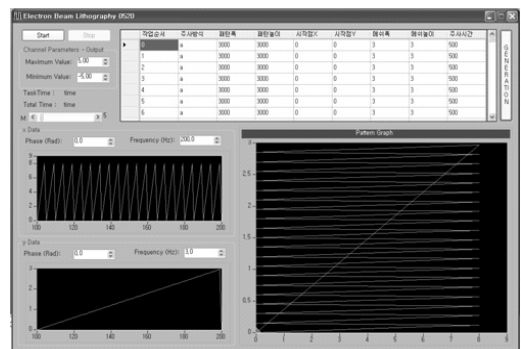


Fig. 2 Developed pattern generation software

(Fig. 4 참조).

Fig. 5는 제작한 소프트웨어를 사용하여 생성한 사각형 패턴의 X, Y 각각의 파형을 오실로스코프를 이용하여 확인한 결과이다. Fig. 6은 X, Y 파형의 조합을 오실로스코프로 나타낸 결과이다.

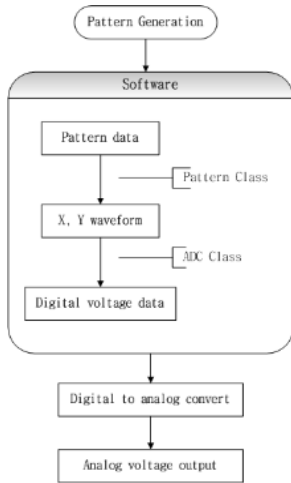


Fig. 3 Pattern generation flow chart

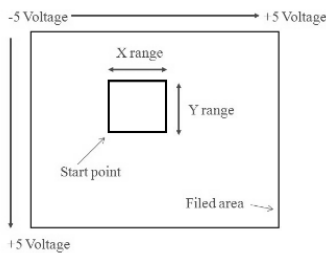


Fig. 4 Rectangle pattern data generation

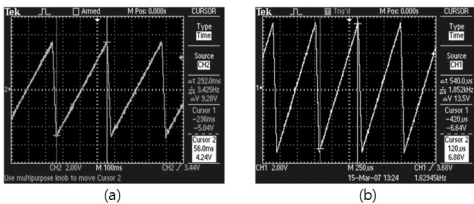


Fig. 5 Scan waveform for the rectangle pattern.
(a) x waveform (b) y waveform

3. 전자빔 리소그래피 패턴 제작 실험

전자빔 리소그래피를 이용하여 패턴을 제작 실험을 하기 위한 공정순서를 Fig. 7에 나타내었다. 공정은 크게 노광전의 준비과정과 노광후의 현상과정으로 나눌 수 있다. 준비과정은 패턴을 제작할 기판을 준비한 후에 레지스트를 spin coater를 사용하여 코팅한다.

레지스트를 코팅하기 위한 조건들은 Table 1과 같다. 전자빔을 노광하기 전에 레지스트가 코팅된 기판을 핫플레이트(hot-plate)를 이용하여 가열건조(baking)시켜 코팅과정 후에 남아있는 용매(solvent)를 제거하고 레지스트의 밀도를 높인다.⁽⁸⁾ 전자빔 노광 조건은 Table 2와 같다.

현상과정은 전자빔에 노출된 레지스트를 제거하기 위한 과정으로 Table 3의 조건으로 현상한다. 현상과정에 사용된

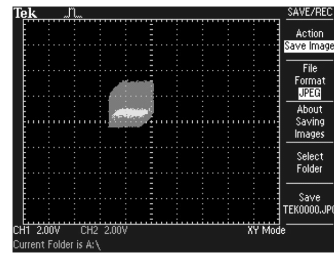


Fig. 6 Result of oscilloscope

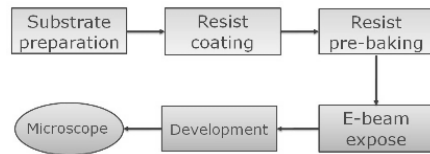


Fig. 7 Lithography process

Table 1 PMMA coating parameter

Parameter	Comment
substrate cleaning (Si)	acetone(5min) -> ethanol(5min) -> IPA(5min) -> blow dry(N2)
dispense	static dispense : 10sec
dehydration bake	hot-plate, 180°C, 5min
spin	ramping time < 1sec, high speed : 1000~5000rpm for 45sec
prebake	180°C, 30min on the hot-plate

Table 2 Exposure parameter

Parameter	Comment
working distance	8~9mm
writing filed	100x100um
acceleration voltage	30kV
probe current	0.5~3pA (single point writing)

Table 3 Development parameter

Parameter	Comment
developer	1:3 (MIBK:IPA)
time	60~90sec
rinse	IPA for 30sec
dry	blow dry (N ₂)

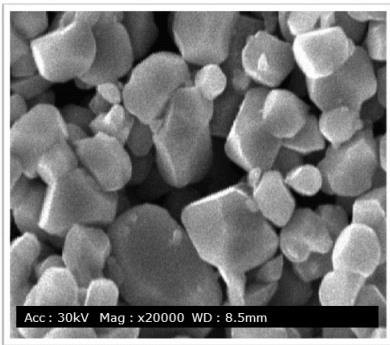


Fig. 8 SEM image of sub-200nm sample at working distance of 8.5mm with optimized beam condition

현상액은 1:3 MIBK:IPA를 사용하였고, 약 60초간 현상하였다.⁽⁹⁾ 이렇게 현상된 패턴은 광학현미경을 이용하여 형상을 확인하고, 패턴의 크기를 측정하였다. Table 4의 조건으로 전자빔을 집속시킨 결과의 SEM 이미지는 Fig. 8과 같다.

4. 실험결과 및 토의

이와 같은 방법으로 11um의 정사각형 패턴을 제작하기 위해 총 4가지의 주사 방식으로 실험하였다. 첫 번째 주사 방식은 TV 스크린 상에서 빔이 움직이는 것과 같은 방식을 사용하였고 두 번째 방식은 지그재그방식을 세 번째는 정사각형 외각에서 중심으로 소용돌이 방식을 끝으로 중심에서

Table 4 SEM parameter

Parameter	Value	Unit	Comments
Acc	15	kV	acceleration voltage
Filament	4.94	V	filament voltage
Current	1	nA	probe current
Bias	4.6	kV	bias voltage
SED	9	kV	secondary electron etector
PMT	3.76	V	photomultiplier tube
CL1	1.285	A	condenser lens 1
CL2	0.861	A	condenser lens 2
OL	1.032	A	objective lens
WD	8.5	mm	working distance

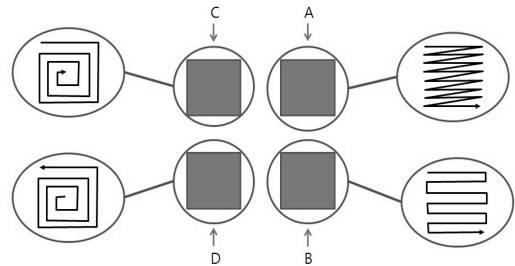


Fig. 9 Scanning types

외각으로 진행되는 소용돌이 방식을 사용하였다.

각 주사방식에 따라 조사시간에 변화를 주어 패턴 제작을 하였다. 실험조건으로 가속전압 15kV, 전자빔 전류량을 5pA로 고정하였으며, PMMA가 코팅된 실리콘 웨이퍼에 주사하여 전자빔 주사 기법에 따른 패턴 형상을 비교하였다. 이와 같은 실험조건에서 최적의 조사시간은 1초로 나타났다⁽¹⁰⁾. 이를 바탕으로 11x11um의 정사각형 패턴을 제작하였다. Fig. 9와 같이 4가지의 주사 기법에 따른 패턴형상을 비교하여 보았다.

앞에서 제시한 방법으로 5회 반복 실험으로 패턴 제작을 수행하였다. 환경적인 요인으로 인한 오차를 줄이기 위해 4가지의 패턴을 동일한 웨이퍼에 노광 한 후 동일 조건에서 현상 하였다. Fig. 10은 광학현미경(500배율)으로 측정한 결과이다. 11x11um 크기인 4가지의 주사방법은 동일한 샘플수(100)와 노광시간(100초)을 주어 제작하여 같은 시간에 정밀한 패턴형상을 비교하였다. 여기서 샘플수는 패턴을 제작하기 위한 파형 생성의 샘플수를 의미하며, 사각형 패턴은

전자빔 픽셀 100개로 이루어졌다. Fig. 11은 A 패턴의 결과를 광학현미경 1500배율과 AFM(Atomic Force Microscopy)으로 측정한 결과이다. 일반적으로 CRT 주사방식으로 직선 주사 후 다음 줄로 급속 이동하는 과정을 반복하는 과정에서 모서리부분에서 굴곡이 생기는 현상을 볼 수 있었다.

Fig. 12는 지그재그 주사 방식인 B 패턴은 다른 3가지의 주사 방식보다 정사각형 패턴 모서리부분의 굴곡이 생기는 현상이 감소되는 것을 볼 수 있다. 이와 같은 결과는 x방향 스캔 후 y방향의 이동이 급격한 변화를 주지 않기 때문에 외곽의 굴곡이 줄어든다.

Fig. 13과 14는 소용돌이 주사 방식으로 패턴 모서리의 굴곡이 생기는 현상은 주사경로가 급속 이송되지 않았지만 사각형 패턴을 형성하기 위한 전체 노광시간이 A, B, C, D type 모두 같으므로 주사경로에 따른 각 전자빔 픽셀 하나의 노광시간은 달라졌고, 이에 따라 근접효과가 A, B type 보다 확연히 나타난 것으로 보여진다. 이런 방식은 패턴 주사 시간이 짧으며 방사형 주사 방식이기에 패턴크기가 다소 큰

대 영역의 리소그래피 패턴 제작에는 효과적이다.

제한한 주사방식들은 임의의 형태의 패턴을 여러 사각형으로 구성할 경우 적용할 수 있다. 예를 들면 T자 형태의 패턴을 두 개의 사각형으로 나누어 패턴을 생성할 경우 적용할 수 있다.(Fig. 15 참조)

이상의 4가지 주사방식에 따라 제작된 패턴의 형상을 비교한 결과 제작되어진 패턴들 모서리 부분의 형상이 차이를 보였다. 패턴의 크기는 11um x 11um로 동일함을 보였으며

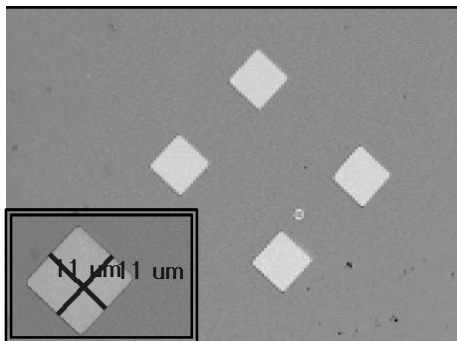


Fig. 10 Rectangle patterns which it follows in 4 kind scanning types

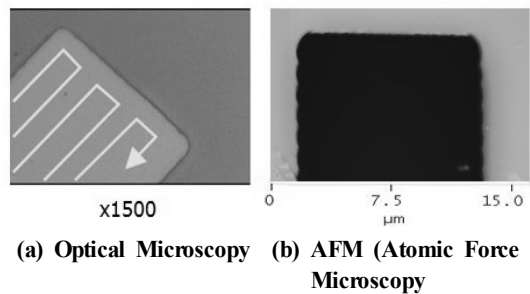


Fig. 12 Scanning type B

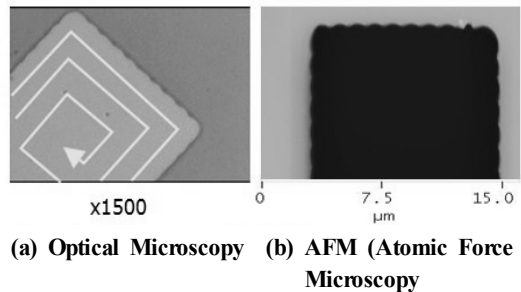


Fig. 13 Scanning type C

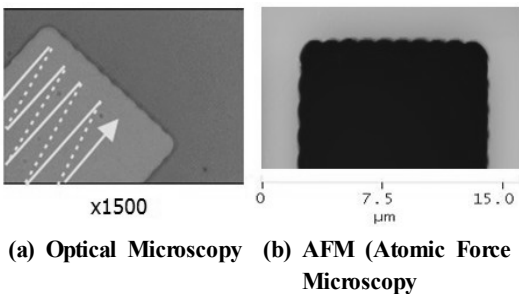


Fig. 11 Scanning type A

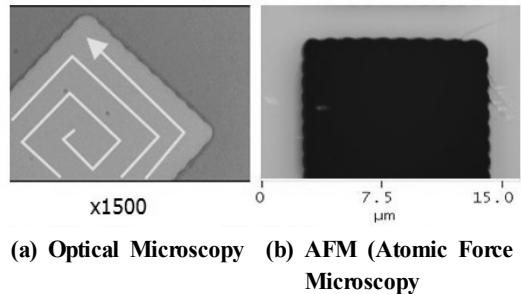


Fig. 14 Scanning type D

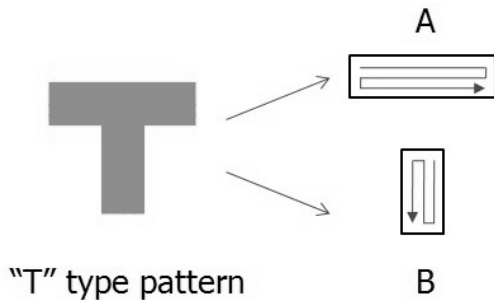


Fig. 15 To divided pattern by rectangles.

정사각형 모서리는 둥근 형상이 나타났다. 주사방식 중에서 type B(지그재그 주사방식)가 가장 작은 왜곡을 보여주는 것을 알 수 있었다. 그 이유는 주사패턴의 급격한 변화는 스캔코일에 역기전력을 야기 시키고 이로 인하여 전자빔 중심의 불필요한 이동이 발생하여 패턴의 왜곡을 야기 시킨다고 볼 수 있다. 따라서 패턴의 급격한 변화를 최소화하는 방식의 주사 패턴을 사용하여야 한다.

5. 결론

미세패턴을 전자빔 리소그래피를 이용하여 제작할 경우 목표하는 형상과 불일치하는 경우가 많이 발생한다. 이에 대한 원인은 여러 가지가 있으나 크게는 가속전압과 선량(dose), 그리고 그에 따른 적절한 주사 방식으로 크게 나눌 수 있다. 본 연구에서는 주사방식을 변화시켜가면서 나타나는 패턴형상의 변화를 관찰하여 최적의 패턴 제작을 보장하는 패턴 주사방식을 제안하였고 이를 실험적으로 증명하였다.

제안된 주사기법 중 A, C, D는 외곽선에 굴곡 현상을 보이는 반면에 B의 주사기법을 이용한 패턴형상은 이러한 굴곡 현상을 줄일 수 있어서 보다 더 정확한 사각형 패턴 제작을 할 수 있었다. 이외에도 근접효과⁽¹¹⁻¹³⁾, PMMA의 코팅 두께, 현상 시간 등의 여러 조건에 따라라도 패턴의 형상에 많은 영향을 미치게 되므로 관련된 연구가 이루어져야 할 것이다.

나노 크기의 정교한 패턴 제작을 위해서는 다양한 조건들에 대한 엄밀한 분석과 최적의 조건을 찾는 것이 필요하다. 특히 패턴크기가 나노급으로 내려갈수록 근접효과가 큰 영향을 주므로 근접효과를 고려한 패턴 주사방식을 찾는 것이 매우 중요하다.

후 기

본 연구는 서울시 산학연 협력사업의 지원으로 수행되었습니다.(과제번호 10583).

참 고 문 헌

- (1) Sheats, J. R. and Smith, B. W., 1998, *Technology roadmap for nanoelectronics*, Marcel Dekker Inc., Europe.
- (2) Madou, M. j., 2001, *Fundamentals of microfabrication*, CRC press, 2nd Ed., USA, pp. 53~57.
- (3) Kim, S. T., Yang, D. S, Park, H. W., and Kim, T. H., 2005, "Technology of Semiconductor Industry and Development of Photoresist," *Polymer Science and Technology*, Vol. 16. No. 1, pp. 10~16.
- (4) Nastaushev, Y. V., Gavrilova, T., Kachanova, M., Nenasheva, L., Kolosnov, V., Naumova, O. V., Popov, V. P., and Aseev, A. L., 2002, "20-nm Resolution of electron lithography for the nano devices on ultrathin SOI film," *Materials Science and Engineering*, Vol. 19, pp. 189~192.
- (5) Kim, J. G., Lee, J. J., Cho, S. H., Choi, D. S., and Lee, E. S., 2008, "Nano-machining Technology Using Electron Beam," *Journal of the Korea Society for Precision Engineering*, Vol. 25, No. 3, pp. 7~14.
- (6) Park, S. Y., Lee, S. W., and Lee, J. J., 2006, "Nano-Scale Device Fabrication by Electron Beam Lithography," *2006 Fall C Lee, Journal of the Korean Society for Precision Engineering*, pp. 671~672.
- (7) Syed, R., 2005, *Handbook of Photomask Manufacturing Technology*, CRC press, 1st edition, USA, pp. 44~51.
- (8) Ham, Y. M., Lee, C. B., Seo, T. W., Chun, K. J., and Cho, K. S., 1996, "Development parameter measurement and profile analysis of electron beam resist for lithography simulation," *Journal of IEEK*, Vol. 33A, No. 7, pp. 1396~1402.
- (9) Parikh, M., and Kyser, D. F., 1979, "Energy deposition functions in electron resist films on substrates," *J. App. Phys.*, Vol. 50, Issue 2, pp. 1104~1111.

- (10) Vieu, C., Pepin, A., Chen, Y., Mejias, M., Lebib, A., Manim-Ferlazzo, L., Couraud, L., and Launios, H., 2000, "Electron beam lithography resolution limits and applications," *Applied Surface Science*, Vol. 164, pp. 111~117.
- (11) Rishton, S. A. and Kern, D. P., 1987, "Point exposure distribution measurements for proximity correction in electron beam lithography on a sub-100 nm scale," *J. Vac. Sci. Technol. B*, Vol. 5, No. 1, pp. 135~141.
- (12) Parikh, M., 1979, "Corrections to proximity effects in electron beam lithography. I. Theory," *Journal of Applied Physics*, Vol. 50, No. 6, pp. 4371~4377.
- (13) Chang, T. H. P., 1975, "Proximity Effect in E-beam Lithography," *J. Vac. Sci. Technol.*, Vol. 12, Issue 6, pp. 1271~1275.