

# FIB 신뢰성 평가를 위한 나노패턴의 설계 및 측정

강현욱\*, 이승재\*, 조동우\*

## Design and Measurement of Nano-pattern for FIB Reliability Assessment

Hyun-Wook Kang\*, Seung-Jae Lee\*, Dong-Woo Cho\*

### Abstract

FIB (Focused ion beam) system is one of the most important equipments for the nano-scale machining. Various researches have been performed, since it can etch the material and deposit 3-D structure with high-aspect-ratio in the nanometer scale. In spite of those researches, the definite method for the reliability of FIB system has not been reported.

In this paper, we proposed the reliability assessment method through nano-pattern fabrication. In the fabricated nano-pattern, the characteristics of FIB system are included. Using this effect, we tried to assess the FIB reliability. First, we suggested reliability assessment items and nano-patterns. And, to know the suitability of the proposed method, we fabricated several nano-patterns using Nova200(FEI Company) and SMI2050(SEIKO) which are FIB apparatuses. The fabricated nano-patterns are measured with SEM (Scanning Electron Microscope) and compared with designed dimensions. And the compared results showed that the proposed method is suitable for the assessment of FIB system reliability.

**Key Words :** 집속 이온 빔(Focused Ion Beam), 나노 패턴(Nano-pattern), 신뢰성 평가(Reliability Assessment)

## 1. 서론

FIB 시스템은 이미지 프로세싱, 재료의 절삭 및 증착에 있어 나노 수준에서의 다양한 기능을 제공한다[1~6]. 이러한 FIB 시스템은 나노 스케일의 가공기로써 중요한 역할을 담당하고 있으며, 그 기능을 더욱 향상시키기 위한 많은 연구가 이루어지고 있다[7~8]. 그러나, FIB 시스템의 신뢰성을 나노 수준에서 통합 평가하기 위한 방안에 관한 연구는 아직 미비한 실정이다. 나노 스케일의 가공 장비인 FIB 시스템을 구성하는 각 구성 요소를 개별적으로 평가하기 위한 여러 방법들은 있다. 그러나, 이미 조립되어 있는

통합된 시스템을 개별적으로 분리하여 평가하기란 많은 시간과 비용이 든다. 또한 조립 과정에서 발생한 오차를 반영할 수 없어 개별적인 분리를 통한 전체 시스템의 평가에는 한계가 있다.

이에 본 연구에서는 FIB 시스템을 구성하는 각 부품의 개별적인 분리 없이, 시스템의 가공성의 관찰을 통하여 전체 시스템의 성능을 평가하기 위한 방안을 제시하고자 한다. 절삭 가공을 통하여 제작되는 나노 패턴에는 시스템의 특성이 반영된다. 즉, 설계된 패턴과 제작된 결과의 상호 비교를 통하여 시스템의 특성을 분석 및 평가하고자 한다.

이러한 분석 및 평가를 수행하기 위하여 본 연구에서는

\* 포항공과대학교 대학원 기계공학과  
 + 포항공과대학교 기계공학과 (dwcho@postech.ac.kr)  
 주소: 790-784 경북 포항시 남구 효자동 포항공과대학교 기계공학과

먼저, FIB 시스템에 대한 주요 평가 항목을 선정하였다. 주요 평가 항목은 시스템을 구성하는 주요 부품을 바탕으로 이루어졌다. 그리고 선정된 평가 항목들에 대하여 부품의 성능이 가공성에 잘 나타나도록 나노 패턴을 설계하였다. 마지막으로 몇몇 설계된 나노 패턴의 가공 및 평가를 통하여 신뢰성 평가에 있어 패턴의 적절성을 확인하였다.

## 2. FIB 시스템 신뢰성 평가 항목

FIB 시스템은 간단하게 ion beam column, 2차 이온 혹은 2차 전자 검출부 그리고 스테이지 시스템 등으로 구분된다. Ion beam column은 다시 이온 빔 발생 장치, 렌즈 시스템으로 구분된다. 이온 빔 발생 장치는 이온원에 전압을 가하여 필요로 하는 이온을 얻어내는 장치이다. 그리고 렌즈 시스템은 이온 빔 발생 장치로부터 생성된 이온을 집속 및 스캔하기 위한 부분으로 정전 렌즈, aperture, beam blander, stigmator, deflector 등으로 구성된다[1,7]. 일반적으로 FIB 시스템은 2개의 정전렌즈로 구성되며, 이는 이온 빔을 집속하기 위한 장치이다. Beam blander는 이온 빔의 주사 및 비주사를 조절하기 위한 셔터 시스템이다. 그리고 aperture는 몰리브덴으로 이루어진 판에 수에서 수십 마이크로 사이즈의 매우 작은 구멍이 있는 것으로, 빔의 지름이나 전류 등을 조절하기 위하여 사용된다. Stigmator는 빔의 구면수차 및 비대칭성을 보정하기 위한 것이고, deflector는 4극 또는 8극을 이용하여 빔을 회전 시켜 원하는 부위에 빔이 주사되도록 조절하여 주는 역할을 한다.

이와 같은 FIB 시스템의 신뢰성을 평가하기 위해서 본 연구에서는 신뢰성 평가 항목을 분류하였다. 먼저 FIB 시스템을 간단하게 ion beam column 평가와 stage system 평가로 구분하였다. 그리고 ion beam column 항목을 다시 ion beam quality test, ion beam generation stability test 그리고 scanning ability test로 구분하였다. Ion beam quality test는 이온 빔의 생성, 보정 그리고 집속된 이온 빔의 최종 상태를 관찰하기 위한 항목이다. 이 항목은 집속된 이온 빔의 axisymmetric condition, intensity distribution 그리고 focusing ability를 살펴보기 위한 항목이다. 이 항목과 연관된 장치는 ion beam column의 이온 빔 발생부, aperture의 구멍 크기, 정전 렌즈 그리고 stigmator의 성능과 연관되어 있다. 두 번째 항목인 ion beam stability test는 시간에 따른 이온 빔 생성의 안정성을 살펴보기 위한 항목이다. 시간이 흐름에 따라 이온 빔이 일정하게 생성되는지를 살펴보기 위

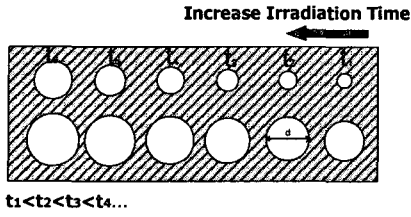
한 부분으로 이온 빔 발생부와 가속부 그리고 여러 집속부의 시간에 따른 안정성을 테스트하기 항목이다. Ion beam column의 마지막 항목인 scanning ability test는 deflector에 의한 이온 빔의 제어 능력을 확인하기 위한 부분으로 제어 분해능, 정확도 그리고 정밀도를 테스트 하기 위한 항목이다. 그 외에도 deflector의 contour scanning performance 및 이온 빔을 이용하여 가공 가능한 영역을 확인하기 위한 working range test 항목이 있다. 그리고 FIB 시스템의 스테이지는 이온 빔의 주사가 가능한 범위를 샘플의 특정 위치로 이동시키기 위한 시스템으로, 일반적으로 5축 혹은 6축 시스템이 이용된다. 이러한 스테이지 시스템은 각 축에 대한 분해능, 정확도 그리고 정밀도에 대한 테스트 항목을 포함하고 있다. 지금까지 설명한 FIB 시스템의 신뢰성 평가 항목을 정리한 것이 Table 1 이다.

Table 1 FIB system reliability assessment items.

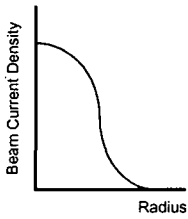
Assessment Part	Detail Items
FIB System	Ion Beam Quality Test
	- Isotropic Condition
	- Intensity Distribution
	- Focusing Ability
	Ion Beam Generation Stability Test
	Scanning performance Test
	- Resolution
	- Accuracy & Precision
	- Contour Scanning Performance
	Stage System
- Resolution & Precision	
Z Axis	
Z Rotation	
XY Tilting	

## 3. FIB 시스템 신뢰성 평가용 나노 패턴의 설계

본 연구에서는 FIB 시스템에 의한 절삭 가공을 바탕으로 Table 1에 소개된 각 신뢰성 평가 항목들 중 일부에 대한 평가용 나노 패턴을 제시하였다. 이러한 신뢰성 평가 패턴은 FIB 시스템을 이용한 sputtering 공정을 기반으로 한다.



(a)



(b)

Fig.1. Ion beam test pattern : (a) nano-pattern and (b) an example of beam current density profile.

### 3.1 Ion beam column 테스트 패턴

#### 3.1.1 Ion beam quality test

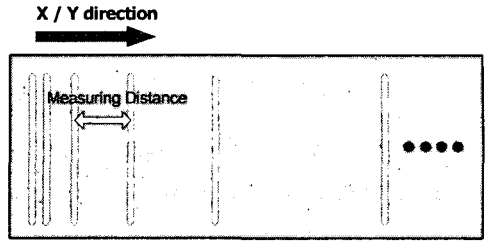
Ion beam quality 테스트를 위하여 Fig. 1(a)와 같은 패턴을 제시하였다. 제시된 패턴은 FIB 시스템을 이용하여 샘플 표면 위에 나노 스케일의 점 형상을 가공 혹은 증착하는 것이다. 이는 R.L. Kubena 등의 연구 결과를 반영한 패턴이다 [9~11]. 각 점의 성형에 있어 주사 시간의 증가는 주사되는 이온량의 증가를 의미한다. 이는 성형되는 나노 스케일의 점의 크기에 영향을 주게 된다. 곧, 성형시의 주사 시간 및 성형된 점의 크기를 알면 아래의 식(1)의 관계식을 이용하여 Fig.1(b)와 같은 반경에 따른 beam current density profile을 얻을 수 있다. 이와 같은 관계를 이용하여 각 방향별로 성형된 점의 지름을 측정 한 후, 이를 상호 비교하면 빔의 질에 대한 axisymmetric condition, intensity distribution 그리고 focusing ability에 관한 사항을 알 수 있다.

$$\frac{J(d_2)}{J(d_1)} = \frac{t_1}{t_2} \quad (1)$$

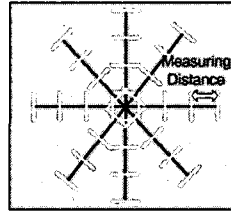
(단, J 는 반경 d에서의 ion beam current density, t는 irradiation time 그리고 d는 가공된 점의 지름)

#### 3.1.2 Scanning Performance Test

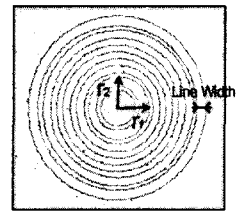
FIB 시스템 내에서 이온 빔의 이차원적인 제어를 위하여 사용되는 deflector의 scanning performance를 평가하기



(a)



(b)



(c)

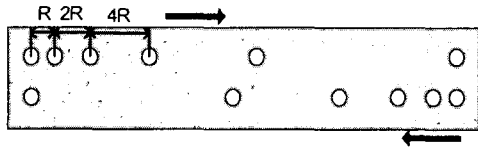
Fig.2. Scanning performance test pattern of deflector : (a) resolution, precision and accuracy in x/y direction, (b) directional and (c) contour performance test patterns.

위하여 제시된 패턴들은 Fig. 2와 같다.

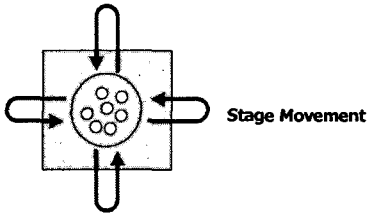
Fig.2(a)는 deflector의 분해능, 정확도 및 정밀도를 측정하기 위한 패턴이다. X축 혹은 Y축 방향에 따라 지정된 거리에 따른 선을 성형하고, 성형된 거리의 측정을 통하여 deflector의 성능을 평가하기 위하여 설계 되었다. 그리고 Fig.2(b)는 deflector의 scanning performance를 평가하기 위한 패턴이다. 방향에 따라 deflector가 가지는 거리 조절 능력을 평가하기 위함이다. 각 선간의 거리를 방향별로 측정 한 후 발생 오차의 상호 비교를 통하여, deflector가 방향에 따라 제어 능력이 어떻게 변하는지 살펴보기 위한 것이다. 그리고 Fig.2(c)는 deflector에 의한 가공시의 contour scanning performance 를 테스트하기 위한 것이다. FIB 시스템을 이용하여 원형 패턴을 만들었을 때 정확한 원이 가공되는지, 아니면 어떤 방향으로 오차를 발생시키는지 살펴보기 위한 것이다.

### 3.2 Stage 평가 패턴

Table 1의 신뢰성 평가 항목에서 FIB 시스템을 구성하는 두 번째 항목은 Stage 시스템에 관한 것이다. 일반적으로 FIB 시스템은 5축 혹은 6축 Stage 시스템이 이용된다. 본 연구에서는 우선, X/Y 스테이지 시스템에 관한 평가용 패턴을 제시하였다.



(a)



(b)

Fig.3. X/Y stage test patterns : (a) short travel and (b) long travel tests.

Fig. 3(a)는 X & Y stage 시스템의 짧은 거리에 대한 위치 정밀도, 정확도 그리고 분해능을 평가하기 위한 패턴이다. 방향에 따라 다양한 거리를 가지도록 선 혹은 점을 가공한 후 각 거리의 정밀한 측정을 통하여 X & Y stage 시스템의 위치 정밀도, 정확도 그리고 분해능을 평가하기 위한 것이다. 그러나 AFM 혹은 SEM을 이용하여 정밀하게 측정할 수 있는 거리는 한계가 있기 때문에, 본 연구에서는 stage 테스트에 대하여 long travel test와 short travel test로 구분하였다. Fig.3(b)는 long travel test를 위하여 제시된 패턴이다. 이는 첫 번째 점을 성형한 후, X 혹은 Y 방향으로 가능한 큰 범위로 stage를 이동시킨다. 그리고 stage를 다시 원래 위치로 이동시킨 후 두 번째 점을 성형한다. 이와 같은 작업의 반복은 Fig.3(b)와 같은 패턴을 형성시키게 된다. 이렇게 형성된 점들의 분포를 통하여 stage의 long travel에 대한 위치 정밀도를 평가할 수 있게 된다.

#### 4. 나노 패턴의 제작 및 분석

본 연구에서는 앞절에서 소개된 평가 항목 및 설계된 나노 패턴을 바탕으로 평가의 적절성을 확인하기 위하여 몇몇 나노 패턴의 가공 및 평가를 수행하였다.

##### 4.1 나노 패턴의 제작

나노 패턴이 가공되는 샘플의 표면 성질은 매우 중요하다. 먼저 절삭 가공이 이루어지는 재료는 고체이어야 하며, 가

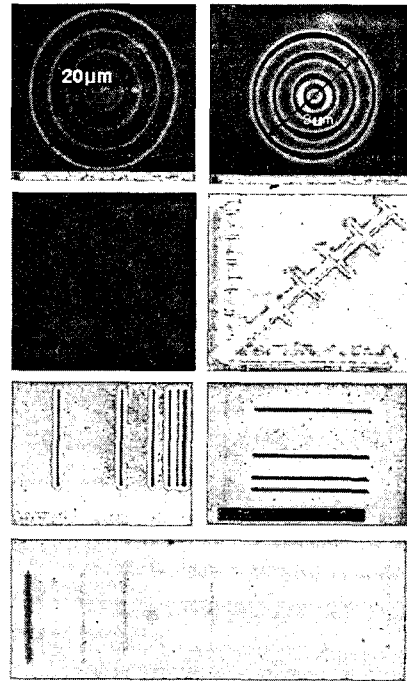


Fig.4 Fabricated nano-patterns.

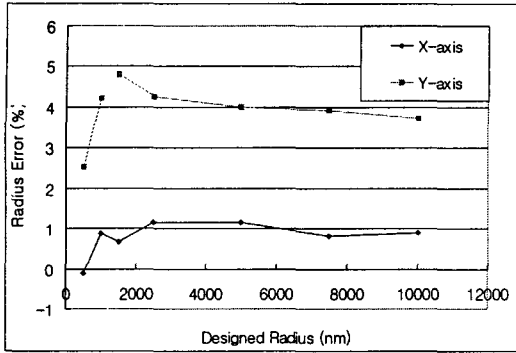
공 시 이온 빔의 미세한 상태 변화도 패턴으로서 나타내기 위하여 가공성이 좋은 재료이어야 한다. 그리고 SEM을 이용한 나노 패턴의 측정이 용이하기 위하여 전도성 물질이어야 하며, 위치에 따라 균일한 물리적 특성을 가져야 한다. 또한 샘플의 표면이 나노 스케일에서 균일하여야 한다. 이러한 필요성을 바탕으로 본 연구에서는 좋은 표면 특성을 가진 실리콘 웨이퍼를 이용하였다.

그리고 나노 패턴의 가공을 위하여 FEI Company의 Nova200과 SEIKO Company의 SMI2050이라는 FIB 장비가 이용되었다. Fig.4는 실리콘 웨이퍼에 앞서 언급한 FIB 장비를 이용하여 제작된 나노 패턴을 보여주고 있다. 각 나노 패턴들은 3절에서 언급한 deflector와 stage를 위하여 설계 패턴들을 바탕으로 제작되었다.

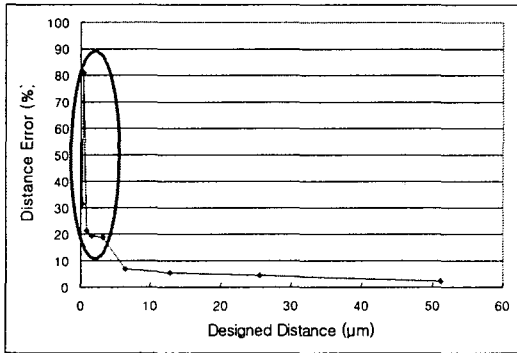
##### 4.2 나노 패턴의 측정 및 분석

고정밀 측정 장비인 SEM장비를 이용하여 Fig.4에서 보이는 나노 패턴의 성형 결과를 측정하였다. 측정 장비는 Philips Company의 XL30SFEG를 이용하였다.

Fig.5의 그래프는 Nova200 장비에 대한 테스트 결과이다. (a)는 Fig.2의 패턴을 이용한 deflector 테스트에 관한



(a)



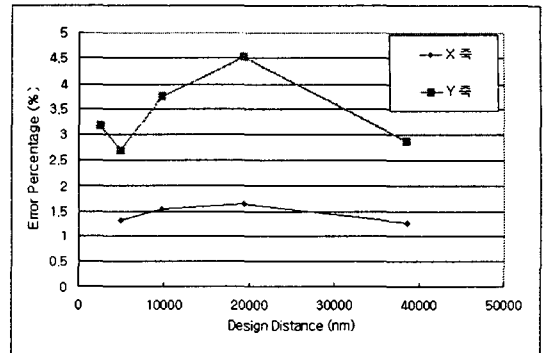
(b)

Fig. 5. Pattern measurement results of Nova200 : (a) deflector test and (b) stage test.

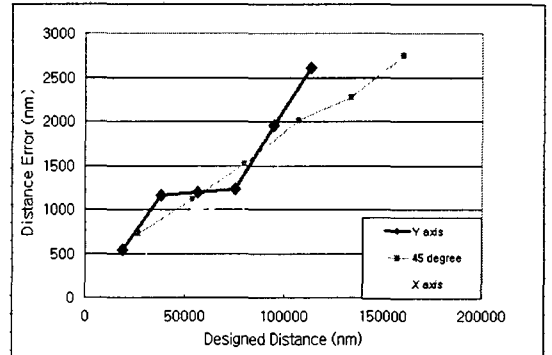
측정 결과중 하나로 설계된 거리에 대하여 성형된 패턴의 오차율을 나타내고 있다. 그리고 (b)는 Fig.3(a) 패턴을 이용한 X 스테이지 테스트 결과로 오차율을 표시하고 있다.

Fig.5(a)에서 보듯이, deflector는 X축보다 Y축이 전반적으로 큰 오차를 발생시킨다는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 경향성은 수백 나노 스케일의 가공에서도 비슷한 결과가 확인되었다. 그리고 Fig.5(b)는 스테이지 테스트 결과이다. 그 그래프에서 보듯이, stage가 수백 나노 스케일에서는 큰 오차를 발생시킨다는 것을 확인할 수 있었다.

Fig.6의 그래프는 SEIKO Company의 SMI2050장비를 이용하여 성형된 결과를 보여주고 있다. Fig.6(a)는 X축 방향과 Y축 방향에 대한 오차율을 나타낸 것이고, (b)는 X축과 Y축 그리고 45° 방향에 대한 오차 거리를 보여주고 있다. 전반적으로 Y축이 X축에 비하여 큰 오차를 발생시키는 것을 확인할 수 있었다. 그리고 Fig. 6(b)에서 보이는 것처럼 45° 방향에서는 x축과 y축의 오차가 동시에 반영되고 있음



(a)



(b)

Fig. 6. Pattern measurement results of SMI2050 : (a) X/Y direction and (b) X & Y & 45° direction test of deflector.

을 확인할 수 있었다.

이와 같은 실험 및 측정 그리고 평가를 통하여 앞 2절에서 언급된 신뢰성 평가용 나노 패턴을 이용한 FIB 시스템의 평가 방안의 적절성을 확인할 수 있었다.

## 5. 결론

FIB 시스템은 나노 스케일에서의 가공 및 분석 장비로서 중요한 역할을 담당하고 있다. 그러나, 이러한 FIB 시스템의 신뢰성을 나노 수준에서 통합 평가하기 위한 방안에 관한 연구는 아직 미비한 실정이다.

이에 본 연구에서는 FIB 시스템을 이용한 가공성을 분석하여, FIB 시스템을 평가하기 위한 방안을 제시하였다. 먼저 FIB 시스템을 평가하기 위한 평가 항목을 분류하였다. FIB 시스템을 구성하는 주요 기능을 기반으로, 시스템을 크게 ion beam column과 stage system으로 구분하였다. 그리고

구분된 부품들을 평가하기 위한 항목들을 선정하였으며, 이들을 평가하기 위한 나노패턴을 제시하였다. 마지막으로 제시된 패턴의 가공과 측정 그리고 분석을 통하여, 나노 패턴의 적절성을 확인할 수 있었다.

차후에는 본 연구를 기반으로 평가 혹은 설계되지 못한 다른 평가 항목들에 대한 패턴 설계와 가공 및 분석 연구를 수행할 것이다.

## 5. 후기

본 연구는 산업자원부 산업기반기술개발사업인 차세대신기술개발사업의 연구비 지원을 받아 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

## 참고 문헌

(1) J. Orloff, M. Utlut and L. Swanson, 2003, "High Resolution Focused Ion Beams," Kluwer Academic/Plenum Publishers.

(2) R.L. Seliger, R.L. Kubena, R.D. Olney, J.W. Ward and V. Wang, 1980, "High-resolution, ion-beam processes for microstructure fabrication," J. Vac. Sci. Technol., Vol 16(6), pp.1610~1612.

(3) R.L. Kubena, R.J. Joyce, J.W. Ward, H.L. Garvin, F.P. Stratton and R.G. Brault, 1987, "Dot lithography for zero-dimensional quantum wells using focused ion beams," Appl. Phys. Lett, Vol 50(22), pp.1589~1591.

(4) D.Z. Xie, B.K.A. Ngoi, A.S. Ong, Y.Q. Fu and B.H. Lim, 2003, "Focused ion beam micromachining of TiNi film on Si(111)," Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B, Vol 211, pp.363~368.

(5) J. Gierak, C. Vieu, H. Launois, G. Ben Assayag and A. Septier, 1997, "Focused ion beam nanolithography on AlF<sub>3</sub> at a 10nm scale," Appl. Phys. Lett., Vol 70(15), pp.2049~2051.

(6) L.A. Giannuzzi, F.A. Stevie, 1999, "A review of focused ion beam milling techniques for TEM specimen preparation," Micron, Vol.30, pp.197~204.

(7) J. Fujita, M. Ishida, T. Ichihashi, Y. Ochiai, T. Kaito and S. Matsui, 2003, "Growth of

three-dimensional nano-structures using FIB-CVD and its mechanical properties," Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B, Vol.206, pp.472~477.

(8) J. Gierak, A. Septier and C. Vieu, 1999, "Design and realization of a very high-resolution FIB nanofabrication instrument," Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, Vol. 427, pp.91~98.

(9) R.L. Kubena and J.W. Ward, 1987, "Current-density profiles for a Ga<sup>+</sup> ion microprobe and their lithographic implications," Appl. Phys. Lett., Vol.51(23), pp.1960~1962.

(10) G. Ben Assayag, C. Vieu, J. Gierak, P. Sudraud, A. Corbin, 1993, "New characterization method of ion current-density profile based on damage distribution of Ga<sup>+</sup> focused-ion beam implantation in GaAs," J. Vac. Sci. Technol. B, Vol.11(6), pp.2420~2426.

(11) P.D. Rose, S.J. Brown, G.A.C. Jones and D.A. Ritchie, 1998, "A method to profile ion beam line exposures in situ using STM," Microelectronic Engineering, Vol.41/42, pp.229~232.