

전자빔 이미지 자동형상측정 정밀도 향상 연구

A study on the Automatic Measurement Accuracy Improvement of Electron Beam

**홍원표, 김승태, 강은구, 이석우, 최헌종

**W. P. Hong(wonpyodr@kitech.re.kr), S. T. Kim, E. G. Kang, S. W. Lee, H. Z. Choi

한국생산기술연구원 융합생산기술연구부

Key words : SEM(Scanning Electron Microscope), Secondary electron, IPT(Image Processing Technique), Edge Detection

1. 서론

나노기술의 발전에 따라 가공기술에 있어서 미세영역의 초정밀가공 중요도 또한 높아지고 있다. 나노단위의 가공은 가공자체 기술도 중요하지만, 가공 후 측정기술 또한 매우 중요한 위치를 차지하고 있다. 그러나 나노단위의 측정을 위한 장비는 매우 고가이며 특수한 환경이 필요할 뿐 아니라 까다로운 공정이 요구되기에 일반적인 산업 현장에의 적용이 어려운 실정이다. 이에 주로 범용 연구 장비로 이용되며 패턴의 형상만을 관찰하는 용도가 일반적이다. 전문 측정전문가를 통해 패턴의 형상에 따른 크기정보를 얻을 수는 있으나 수동으로 측정을 해야 하므로 사용자에게 의존하는 측정 데이터만을 취득할 수 있다. 나노단위에서의 작은 오차는 측정정밀도에 매우 큰 영향을 줄 수 있으므로 이는 매우 중요한 사항이다.

본 연구에서는 전자빔 장비로부터 획득된 측정이미지에 대하여 이미지프로세싱 기법을 적용하여 이미지의 형상 및 크기정보를 자동으로 측정할 수 있는 알고리즘에 대한 정밀도 향상 기법을 제안하였다. 전자빔 장비는 시편에 입사되는 1차 전자에 의해 시편표면으로부터 방출되는 2차 전자를 검출기로 받아들여 화면에 표시하는 특성을 가지고 있다. 시편표면에서 발생하는 2차 전자는 각 측정 지점의 정보를 [0~255] 그레이 레벨로 변환하여 디스플레이되며, 형상의 에지(Edge)부분에서는 더 많은 2차 전자가 발생되므로 이미지 상에서는 높은 레벨의 화소로 표시되어 밝게 나타나게 된다. 이에 전자빔 장비로부터 획득된 측정이미지의 에지 추출을 통해 이미지 형상 및 크기를 자동측정하고, 이의 결과를 AFM 측정데이터와 비교함으로써 본 알고리즘의 측정정밀도를 검증하였다.

2. 형상측정 알고리즘 정밀도 향상

Fig. 1은 형상측정 알고리즘의 전체적인 흐름도이다. 알고리즘은 크게 이미지의 전처리, 에지 추출, 형상 측정의 세단계로 구성된다. 전자빔으로 측정된 이미지의 전체적인 레벨을 조절하여 처리시간을 단축시켰으며, 문턱값(Threshold) 설정을 통해 에지 추출시 노이즈로 작용할 수 있는 낮은 레벨의 화소들을 처리하였다.

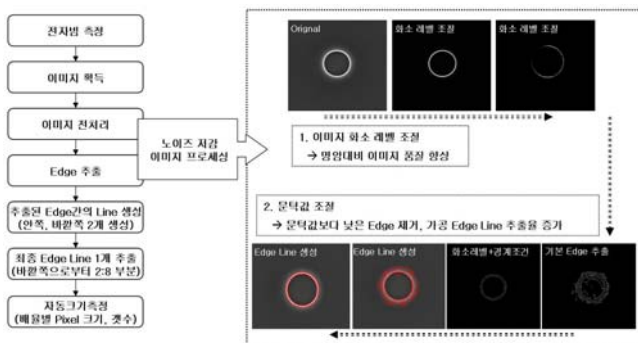


Fig. 1. Automatic measurement algorithm of electron beam image

2.1 전자빔 이미지 전처리

전자빔 이미지는 측정시 사용하는 가속전압에 따라 이미지의 전체적인 품질에서 차이가 발생하며 측정 형상의 크기가 작아질수록 이미지의 품질이 현저히 저하된다. 이미지 전처리 과정에서는 이미지의 전체적인 화소 레벨값을 조절함으로써 명암대비를 향상시켜 에지의 경계점을 명확히 구분해 주었으며, 문턱값 설정을 통해 에지를 추출함으로써 Fig. 2와 같이 흐릿한 영상에서도 높은 에지 추출율이 가능하도록 하였다.



Fig. 2 Electron beam image
(a) Original image(300nm, circle), (b) Edge detection image

2.2 에지 추출에 의한 형상 측정

일반적으로 미세영역의 가공형상은 그 가공형태가 직각이 아니라 경사면을 가지게 된다. 이를 전자빔으로 측정하면 실제 형상의 경사면에서 많은 2차 전자가 발생되어 화면상에 밝게 표시되므로 이미지 처리시 에지 폭이 생성된다. 이로부터 결국 2개의 에지 라인(Line)이 생성되며, 측정정밀도 향상을 위해서는 생성된 2개 에지 라인 사이의 1개 에지 라인만을 추출해야만 한다.

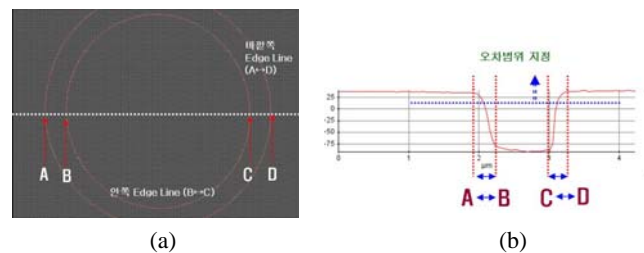


Fig. 3 (a) Edge line image, (b) Line profile

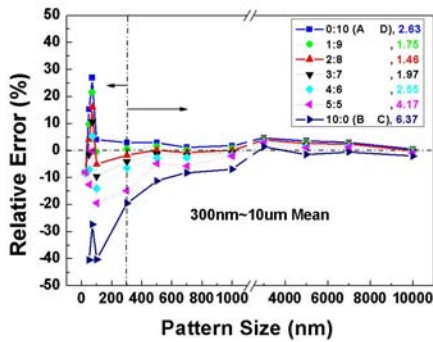
Fig. 3-(a)는 직경 1 μ m의 지령치로 가공된 원형형상으로 앞서 기술한 내용과 같이 에지의 폭이 발생한다. 이는 Fig. 3-(b)에서 보는 바와 같이 미세영역 가공시 직각 형태가 아니라 경사를 포함하여 가공되기 때문이다. AFM 측정결과 경사면의 시작부분인 A-D는 1.05 μ m, 최하단부분인 B-C는 0.85 μ m의 측정값을 보인다. 이로부터 자동측정시 어느 지점을 최종 에지로 선택하여 크기를 측정하는가에 따라 결과가 다를 수 있다.

본 연구에서는 각각 A-B 구간의 2:8 지점 C-D 구간의 8:2 지점을 선택하여 자동 크기 측정 하였을 때 AFM 측정데이터와 비교하여 가장 우수한 측정정밀도를 얻을 수 있음을 확인하였다.

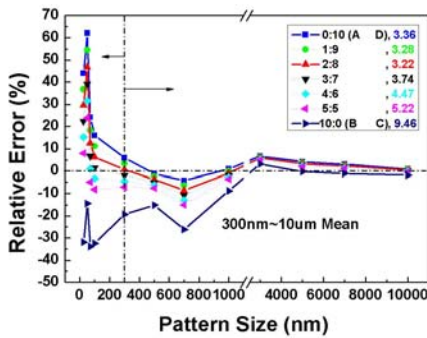
3. 실험 결과

실험은 원형 및 사각 형상을 대상으로 300nm-10 μ m 사이의 8가지 크기에 대해서 수행하였다. Fig. 3의 경사면 시작부분인 A-D와 최하단부분인 B-C 사이의 에지 폭 중에서 AFM 측정값과 비교하여 측정정밀도가 가장 우수한 에지 라인의 위치를 자동측정시의 최종적인 에지 라인으로 추출하고자 하였다.

Fig. 4-(a)는 원형 형상에 대하여 AFM 측정값과 에지 라인 위치에 따른 형상크기측정 오차율이다. 경사면 시작부분인 A-D의 경우에는 평균 2.63%, 최하단부분인 B-C의 경우에는 평균 6.37%의 오차가 발생하였으며, A-B 구간의 2:8 지점 C-D 구간의 8:2 지점의 경우 평균 1.46%의 측정오차가 발생함을 확인하였다.



(a) Circular image



(b) Rectangular image

Fig. 4 Comparison of Relative Error

Fig. 4-(b)는 사각 형상에 대하여 AFM 측정값과 에지 라인 위치에 따른 형상크기측정 오차율이다. 경사면 시작부분인 A-D의 경우에는 평균 3.36%, 최하단부분인 B-C의 경우에는 평균 9.46%의 오차가 발생하였으며, A-B 구간의 2:8 지점 C-D 구간의 8:2 지점의 경우 평균 3.22%의 측정오차가 발생함을 확인하였다.

비교적 측정하고자 하는 형상의 크기가 큰 300nm 이상의 경우에는 신뢰성있는 측정 데이터를 확보할 수 있었으나, 100nm이하의 영역은 가공 형태 및 측정이미지의 상태 불안정으로 본 논문의 연구결과에서는 제외하였으며 추후 연구를 수행할 예정이다.

Table 1과 2에 300nm-10 μ m 사이의 8가지 각각의 가공크기에 대해서 AFM 측정값과 자동측정으로 부터의 결과값을 표기하였다.

Table 1. Comparison of measurement result (Circle)

가공	300nm	500nm	700nm	1 μ m	3 μ m	5 μ m	7 μ m	10 μ m	
1 차	AFM	353	536	734	1.06	2.95	5.09	7.12	10.33
	자동측정	347	544.4	729.1	1.07	3.08	5.23	7.29	10.34
2 차	AFM	347	540	747	1.02	2.88	5.05	7.2	10.42
	자동측정	349.9	529.4	723.1	1.5	3.06	5.19	7.23	10.31

Table 2. Comparison of measurement result (Rectangle)

가공크기	300nm	500nm	700nm	1 μ m	3 μ m	5 μ m	7 μ m	10 μ m	
1 차	AFM	364	584	789	4.04	3.09	5.07	7.16	10.35
	자동측정	354.9	537.7	734.6	1.08	3.10	5.24	7.27	10.32
2 차	AFM	348	556	775	1.08	2.09	5.06	7.1	10.23
	자동측정	350.4	535.4	708.8	1.07	3.08	5.24	7.26	10.28

4. 결론

본 논문에서는 전자빔 장비로부터 획득된 측정이미지에 대하여 이미지프로세싱 기법을 적용하여 이미지의 형상 및 크기정보를 자동으로 측정할 수 있는 알고리즘에 대한 정밀도 향상 기법을 제안하였다.

실험 결과 전자빔 이미지로부터 측정 형상의 인식 및 에지 추출이 가능하였고, 이를 원형 및 사각 형상에 적용하여 자동으로 크기 측정이 가능함을 확인하였다. 상용 AFM 장비를 이용한 측정값과 비교하여 300nm-10 μ m의 미세 형상의 경우 약 3% 미만의 자동 측정오차율을 나타냄을 확인하였다.

본 연구를 통해 전자빔 장비를 이용한 미세형상의 측정시 전문 측정전문가에 의존하는 측정의 일관성 부족 및 측정 시간 소요 등의 제한 해결에 크게 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

후기

본 연구는 지식경제부의 “다중칼럼 방식의 고효율 전자빔 응용 In-line 시스템 및 공정기술 개발” 과제 연구비를 지원받아 수행되었습니다.

참고문헌

1. Reimer, L., Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis, PTR Prentice Hall, 1998.
2. 황인옥, 김재천, 주사전자현미경의 기초, 피어슨 에듀케이션, 1994.
3. Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods, Digital Image Processing, Prentice Hall, 2002.
4. 허경무, 박세혁, 강수민, “역함수 변환과 히스토그램 지정을 사용하여 정확도를 향상시킨 Vision 검사 방법 개발,” 전자공학회 논문지, 제 44 권 SC편 제 5 호, 2007.