

# 소형 전자빔 렌즈의 얼라인 오차 특성 분석

## Alignment Error Characteristic of Micro Electron Beam Lens System

\*,\*강은구<sup>1</sup>, 김진석<sup>1</sup>, 고용준<sup>1</sup>, 변경원<sup>1</sup>, 이석우<sup>1</sup>

\*,\*E. G. Kang<sup>1</sup>(egkang@kitech.re.kr), J. S. Kim<sup>1</sup>, Y. J. Ko<sup>1</sup>, K. W. Byun<sup>1</sup> and S. W. Lee<sup>1</sup>

<sup>1</sup>한국생산기술연구원 디지털협업지원센터

Key words : Alignment Error, Electron Beam, Micro-column, Electron Lens

### 1. 서론

본 논문은 미래 첨단 제품 수요에 대응하기 위해 전자빔 기술을 이용한 고효율의 초미세 가공시스템개발을 목적으로 하고 있으며, 이를 통해 수백  $\mu\text{m}$  이상의 패턴길이와 수  $\mu\text{m}$  이하의 패턴 폭을 가공하기 위한 시스템을 개발하고자 한다. 따라서 기존의 단일 에너지빔 기술을 통한 초미세 부품 제조공정 적용의 문제점인 생산성 한계를 극복하기 위한 새로운 방법으로 다중빔 방법을 제안하여 가공 속도를 향상하고, 기존 방식에 비해 넓은 면적의 가공을 하고자 한다. 이러한 기술의 개발을 위해서는 에너지빔 칼럼의 소형화(Micro-column) 뿐만 아니라 칼럼의 병렬배치<sup>[1]</sup>를 통한 다중빔 시스템화, 제어기술, 롤 금형가공 공정기술의 개발, 고분해능의 측정기술 개발 등이 요구되고 있으며, 본 기술개발이 완료될 경우 미래 첨단 제품에 대한 국내의 시장요구 대처능력이 향상되고 이로 인한 고부가가치 제품 개발이 가능하게 될 것으로 예상된다.

Master 또는 Mask 제작 등에 일반적으로 사용되는 기존의 고분해능(High resolution) 고에너지 전자빔 장비는 단일 빔으로 높은 생산성을 구현하기 힘들다는 단점을 가지고 있다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 병렬 마이크로 칼럼 기술 방식이 제안되고 있으며 여기에 필수적으로 초소형 Micro-column의 개발이 필요하다.

초소형 전자칼럼은 기존 전자칼럼 직경을 수십mm이하로 최소화하여 광학 수차 값을 최소화함으로써 성능을 향상시킬 수 있으며, 저전압으로 구동하여도 고밀도의 beam current를 얻을 수 있다. 또한, 소형이며 경량화된 구조는 멀티빔 구조가 가능하며, sample current값이 일반적인 SEM보다 약 10~100배 정도 높기 때문에 생산성이 높은 멀티 전자빔으로 적용이 가능하다.

이러한 초소형 전자칼럼의 구조는 전자 방출원(electron emitter)으로부터 방출된 전자빔을 모아주는 소스렌즈, 편향기(deflector)와 전자빔을 집속하는 아인젤 렌즈(Einzel lens)로 구성되며, 소스렌즈와 아인젤 렌즈는 3장의 실리콘 멤브레인막에 파이렉스 절연체로 구분된 적층을 이루며 광학적으로 정밀하게 조립되어 있다. 그러나 다양한 사이즈에 대한 렌즈별 얼라인 및 검증에 대한 어려움이 존재하고, 특히 소스 렌즈세트, 아인젤 렌즈세트, 팁간의 오차 검증에 대한 매우 어려운 문제점이 있다.

또한, 기존의 렌즈 얼라인 방법은 레이저 광원을 이용한 레이저의 광 간섭 효과를 이용하는데 광간섭 효과에 의한 이미지를 정량적인 방법보다는 관찰자의 정성적인 방법에 의존하여 얼라인이 이루어져 측정자에 의한 값의 차이가 크다는 단점이 있다.

따라서 본 논문은 얼라인 오차에 따른 전자빔의 특성을 분석하고, 단과장 적외선을 이용하여 촬영된 렌즈의 영상을 이용하여 얼라인 상태를 판단하고, 정량적인 얼라인 오차 분석방법<sup>[2]</sup>에 대하여 연구 하고자 한다.

### 2. 얼라인 오차에 따른 전자빔 특성

소형 전자빔 렌즈의 얼라인이 오차가 전자빔의 집속도 및 궤적에 미치는 영향성을 판단하기 위해 정전계 해석을 실시하였다. 해석에 사용된 프로그램은 상용 프로그램인 Opera 3D를

활용하였으며, 렌즈간의 정확한 얼라인이 이루어진 모델과 얼라인 오차가  $5\mu\text{m}$ 인 모델의 해석 결과를 비교 분석 하였다.

Fig. 1은 각 렌즈간의 정확한 얼라인이 이루어졌음을 가정한 모델의 해석 결과이며, Fig. 2와 Fig. 3은 각각 아인젤 렌즈와 소스렌즈의 위치를  $+5\mu\text{m}$ 이동한 경우의 해석 결과를 나타낸다.

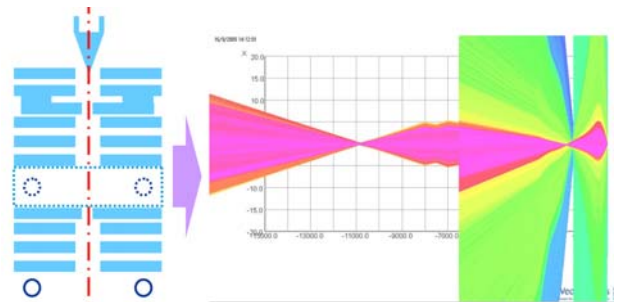


Fig. 1 Analysis of the trace of electron beam (Without alignment error)

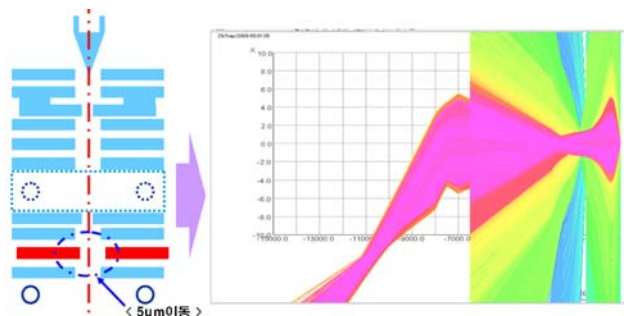


Fig. 2 Analysis of the trace of electron beam (With +5um alignment error of objective lens)

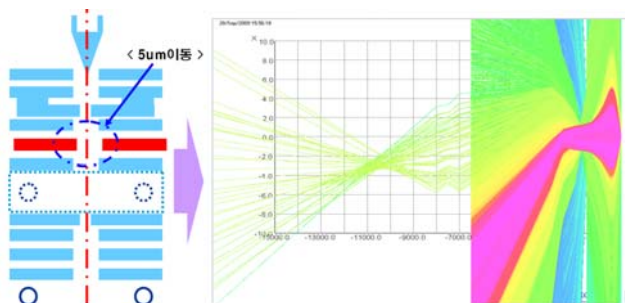


Fig. 3 Analysis of the trace of electron beam (With +5um alignment error of condense lens)

정확한 얼라인이 이루어진 경우 팁으로부터 방출된 전자빔의 궤적이 일정하게 한 점에서 집속이 되는 것을 알 수 있다. 아인젤 렌즈 및 소스렌즈의 위치가 이동되었을 경우 빔의 궤적이 상당히 틀어지는 경향을 나타내고 있으며, 빔의 집속도 또한 좋지 않은 것을 알 수 있었다.

위와 같은 결과로 미루어 볼 때 소형 전자빔 렌즈의 얼라인 정밀도에 따라 전자빔의 궤적, 빔이 집속되는 위치, 빔 Spot 크기 등에 큰 영향력이 있음을 확인 하였다.

### 3. 소형 전자빔 렌즈의 얼라인 오차 분석

본 연구에 사용된 전자빔 렌즈의 재질은 반도체인 실리콘 웨이퍼를 사용하였으며, 수십  $\mu\text{m}$ 의 정교한 홀 가공을 위해 MEMS공정으로 제작하였다. 렌즈의 구성은 각각 4장의 웨이퍼가 겹쳐진 Condense 렌즈 세트와 Objective 렌즈 세트로 구성된다.

각 렌즈의 제작방법은 적외선을 방출하는 IR 광원위에 1차 웨이퍼를 올리고 그 위에 2차 웨이퍼를 올려놓고, 상하 이송스테이지를 통하여 1차 웨이퍼를 투과한 2차 웨이퍼의 이미지를 보고 2차 웨이퍼를 X, Y 방향으로 이동하여 1차 웨이퍼의 홀 중심과 2차 웨이퍼의 홀 중심을 일치시키는 방법으로 제작되며 3차, 4차 웨이퍼도 동일한 방법으로 얼라인과 제작이 동시에 이루어진다.

제작된 렌즈의 얼라인 오차 검증은 1차 웨이퍼의 중심 좌표를 기준으로 상하스테이지를 이용하여 2차, 3차, 4차 웨이퍼의 좌표를 측정한다. Table. 1은 각 웨이퍼의 위치 좌표를 Pixel 단위로 측정된 값을 나타낸다.

Table. 1 Measurement of alignment error

렌즈 번호		X (Pixel)	Y (Pixel)	반경 (Pixel)	실제 직경 (um)
1	OBJECTIVE	640	480	164	200
2		636	483	164	200
3		632	478	164	200
4		648	469	8	10
5	CONDENSER	648	469	164	200
6		642	474	164	200
7		648	476	164	200
8		657	477	8	10
2nd Anode		654	474	246	300

Table. 2 Results of alignment error verification(Objective lens)

렌즈 번호	렌즈 종류	홀 중심 위치		오차	
		X (Pixel)	Y (Pixel)	X	Y
1	ELC	640	480	+4 (+1.2um)	-0.33 (-0.1um)
2	ELE	636	483	0 (0um)	+2.66 (+0.71um)
3	ELC	632	478	+4 (1.2um)	-2.33 (-0.71um)

Table. 3 Results of alignment error verification(Condense lens)

렌즈 번호	렌즈 종류	홀 중심 위치		오차	
		X (Pixel)	Y (Pixel)	X	Y
5	ELC	648	469	+2 (+0.6um)	-4 (-1.2um)
6	ELE	642	474	-4 (+1.2um)	1 (+0.3um)
7	ELC	648	476	+2 (+0.6um)	+3 (+0.9um)

얼라인 오차의 검증은 측정된 좌표 값으로 오차를 정의 하는데, 각 렌즈의 X, Y 값의 평균값을 기준으로 +, -로 정의하였다. 정의된 값은 Pixel 단위이기 때문에  $\mu\text{m}$  단위로 다시 환산 하였다.

Table. 2와 Table. 3은 각각 Objective 렌즈와 condense 렌즈의 얼라인 오차 검증결과를 나타낸다. 각 렌즈의 얼라인 최대 오차는

$\pm 1.2 \mu\text{m}$ 로 양호한 결과를 나타내었다.

### 3. 결론

소형 전자빔 렌즈는 크기가 매우 작기 때문에 반도체 MEMS공정에 의해 정교하게 제작된다. 이러한 렌즈는 다양한 사이즈에 대한 렌즈별 얼라인 및 검증에 대한 어려움이 존재하고, 얼라인 정밀도에 따라 전자빔의 특성이 변하게 된다.

따라서 본 연구에서는 소형 전자빔 렌즈의 얼라인 오차에 따른 전자빔의 특성을 분석하고, 렌즈의 얼라인 및 얼라인 오차를 정량적으로 분석하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 소형 전자빔 렌즈의 얼라인 정밀도에 따라 전자빔의 궤적, 빔이 집속되는 위치, 빔 Spot 크기 등에 큰 영향력이 있음을 확인하였고, 특히 Condense 렌즈의 정밀도가 중요함을 확인하였다.

둘째, 본 연구에 의해 제작된 얼라인 장치를 통하여 소형 전자빔 렌즈의 얼라인 오차를 감소시킬 수 있었으며, 정량적인 얼라인 검증이 가능함을 확인하였다.

### 후기

본 연구는 지식경제부 차세대신기술개발사업 “고효율 에너지빔 응용 초미세 부품 제조용 In-line 시스템 개발”과제의 지원으로 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

### 참고문헌

- "Analysis on Markets and Technology Trends of High Effective Energy Beam In-Line System for Micro Structured Part Manufacturing", Analysis Report of Market and Technology by Ministry of Commerce, Industry and Envergy (MOCIE), 2007.
- 강은구, 이석우, 최현종, "적외선을 이용한 다층구조의 미세홀 얼라인 오차 측정 및 수정 방법", 국내특허, 10-2009-0018715, 2009
- J. Y. Park, J. D Lera, H. J. Choi, G. H. Buh, C. J. Kang, J. H. Jung, S. S. Choi, D. Jeon, "Characterization of two by two electron-beam microcolumn array aligned with field emission array", J. Vac. Sci. Technol. B, 16-2, pp.826-828, 1998
- T. Usa, K. Komatsu, "Electron Beam Lithography Apparatus and Method for Compensating for Electron Beam Misalignment", US Patent, US 2008/0054188 A1, 2008
- Y. C. Kim, H. S. W. Kim, D. W. Kim, S. J. Ahn, "Research on the electron-beam characteristics according to the shape of electron lenses in low-energy microcolumn using Monte Carlo numerical analysis", KAIS, 9-1, pp.23-28, 2008
- James P. Spallas, Charles S. Silver, D. W. Lawrence P. Muray, Torquil Wells, Mohamed El-Gomati, "A manufacturable miniature electron beam column", Microelectronic Engineering, 83, pp.984-989, 2006