

# 전자빔 가공기에서 최적 빔 주사를 위한 제어기의 개발

임선종\*, 이찬홍, 강재훈(한국기계연구원)

## Development of Controller for Optimal Beam Scanning in E-Beam Manufacture System

S. J. Lim, C. H. Lee, J. H. Kang (KIMM)

### ABSTRACT

The use of electron-beam(E-Beam) manufacture systems provides a means to alleviate optic exposure equipment's problems. We designed an E-beam manufacture system with SEM function. Optimal beam scanning is one of the most important conditions in the performance of E-beam and SEM. The performance of E-beam manufacture system and images of SEM are a close affinity with each other. Developed E-beam manufacture system consist of the controllers of high voltage, scanning, optic and high voltage generator.

In this paper, we analyze the condition of steady beam scanning and describe the development of controller for optimal beam scanning.

**Key Words** : 전자빔 가공기(E-Beam Manufacture System), 전자 현미경(Scanning Electron Microscope), 고전압 제어, 스캔(Scan) 제어, 전자 렌즈 제어, 전자빔 제어

### 1. 서론

반도체 산업 분야에서 패턴 성형에 사용된 광학식 노광 장비는  $0.2\mu\text{m}$  의 해상도를 가지고 있어서 현재 상용화되어 사용되는  $0.13\mu\text{m}$  의 회로 패턴에 대한 기술적 대응이 어렵게 되었다.<sup>1</sup> 이것을 극복하기 위해 X-ray 혹은 전자빔과 같은 비광학식의 광원을 가지는 노광 장비에 대한 개발이 진행되고 있다. 전자빔 가공기는 전자빔을 에너지 전달 매개로 하여 기판 위의 원하는 위치에 전자빔을 주사하여 주사된 부분의 레지스트를 제거하여 패턴을 형성한다.<sup>2</sup> 가공기는 전자빔의 생성, 빔의 제어, 시료에 따른 적당한 고압의 선정 등에서 전자 현미경과 같은 원리를 가지고 있다. 전자빔 가공기는 전자총(Electron gun), 전자빔 차단기(beam blander), 집속 렌즈(Condenser lens), 대물 렌즈(Object lens), 스캔 코일(Scan coil), 스티그메이터(Stigmator), 어퍼처(Aperture), 스테이지(Stage)로 구성된다.

전자빔 가공기에서 최적의 패턴으로 가공하기 위해서는 전자빔을 최적의 조건으로 조사해야 하는데 이것은 전자 현미경에서 최적의 영상을 얻을 수

있는 전자빔의 조사 조건과 같다. 즉 전자 현미경에서 최적의 영상을 얻기 위한 전자빔 조소 조건은 전자빔 가공기에서 최적의 가공을 이루기 위한 조건과 같다. 최적의 빔 주사를 위해서는 전자빔 가공기의 하드웨어의 안정성과 시료에 적합한 빔의 주사 및 전자빔 가공기의 운영 숙련도 갖추어져야 한다.

본 연구는 전자 현미경의 기능을 가지는 전자빔 가공기에서 최적 빔 주사를 수행하는 제어기를 개발하였다. 이것을 위해 첫째, 전자빔 가공기를 위한 전자 현미경을 개발하였으며, 둘째, 전자빔의 최적 주사를 저해하는 원인을 분석하였으며 셋째, 개발된 제어기를 통해 안정된 영상을 확인하였다.

### 2. 전자빔 가공기의 제작

#### 2.1 전자빔 가공기의 구성 요소

본 연구에서 전자빔 가공기의 제작은 전자 현미경을 개조 및 보완하는 방식으로 진행하고 있다. 따라서 전자빔 가공기를 개발하기 위해서는 전자 현미경을 우선적으로 개발되어야 한다. 전자빔 가공기의 구성요소는 전자총, 전자빔 차단기, 집속

렌즈, 대물 렌즈, 스캔 코일, 스티그메이터, 어퍼처, 스테이지 등이 있다.<sup>3</sup> 전자총은 광원으로 사용되는 전자를 만들고 가속시킨다. 사용되는 가속전압은 32KV 까지 조종할 수 있다. 전자빔 차단기는 패턴 가공을 위해 빔을 차단하는 기능을 수행한다. 집속 렌즈는 2 단으로 구성되며 시편에 도달하는 전자의 양을 조종한다. 대물 렌즈는 초점을 조종하는 기능을 수행한다. 스캔 코일은 전자 현미경의 경우 영상과 밀접한 관계를 가지며 전자빔 가공기의 경우 패턴의 형상과 밀접한 관계를 가지게 된다.

위에서 언급된 각 기능을 제어하기 위해 제어기는 4 부분으로 구성하였다. 빔 제어기는 고전압 발생기에서 생성되는 고전압의 크기를 제어하며, 스캔 제어기는 시편에 주사되는 전자빔의 주사 시간 등을 제어하고, optic 제어기는 대물 렌즈와 집속 렌즈에 흐르는 전류를 제어하여 시편에 도달되는 전자의 양을 제어한다. 주 제어기는 진공 챔버의 진공도 측정, 밸브 제어, 사용자 인터페이스 등의 기능을 수행한다. 그림 1 은 전자빔 가공기의 구조를 보이고 있다.<sup>4,6</sup>

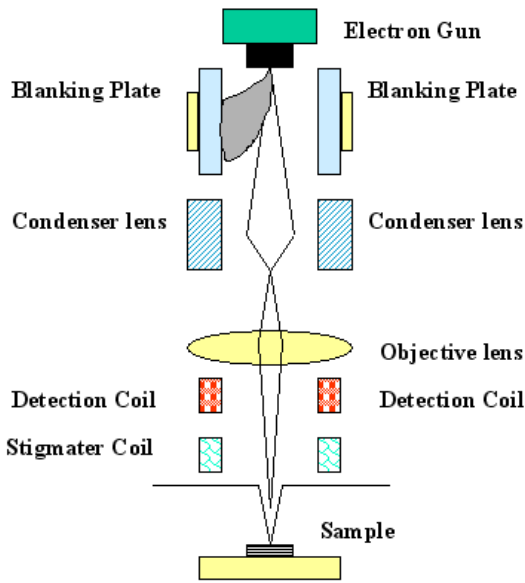


Fig. 1 Structure of electron beam manufacturing system

## 2.2 전자빔 가공기의 기구부

기구부는 집속 렌즈, 대물 렌즈, 스캔 코일, 스티그메이터, 어퍼처, 진공용 챔버 등을 포함한다. 전자 렌즈는 대물 렌즈와 집속 렌즈가 있으며 집속 렌즈는 1.2mm 의 권선을 920 회 감아 최대 3A 의 전류가 흐르도록 하였다. 대물 렌즈는 같은 종류의 권선을 이용해 약 600 회를 감아 제작하였다. 경통은 자장의 영향이 작아야 하므로 선삭 가공, 다듬

질 가공, 텡핑 가공 후 탈자 처리를 하였다. 그림 2 는 대물 렌즈와 집속 렌즈를 보이고 있다.



Fig. 2 The structure of condenser lens and object lens

## 2.3 전자빔 가공기의 제어기

전자빔은 고전압 발생기에서 생성되어 전자 렌즈, 스캔 코일 그리고 어퍼처를 거치면서 집속되고 진원을 이루며 시편에 도달된다. 위와 같이 빔의 생성과 제어를 위해 제어기는 고전압 발생기, 빔 제어기, 전자 렌즈 제어기, 스캔 제어기, 주 제어기 및 프레임 그레버 등으로 구성하였다. 고전압 발생기는 가속 전압, 바이어스 전압 및 필라멘트 전압 등의 전압을 생성한다. 가속 전압은 30KV 까지 변화가 가능하며 바이어스 전압은 약 1.3KV 로 승압된다. 필라멘트 전압은 필라멘트의 가열을 통해 빔의 발생이 주 목적으로 저전압 및 대전류의 특성을 갖는다.

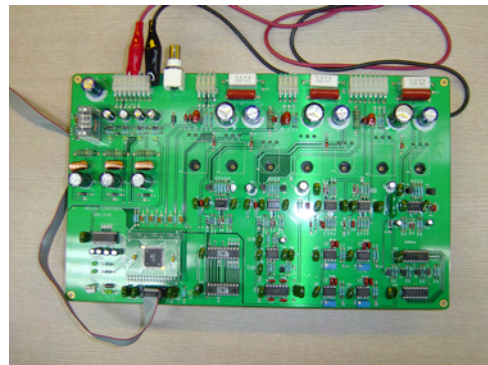


Fig. 3 Beam controller

빔 제어기는 고전압 발생기에 입력되는 전압을 생성하고 고전압 발생기의 상태를 점검하기 위해 에미션 전류 값을 수신한다. 전자 렌즈 제어기는 집속 렌즈와 대물 렌즈에 흐르는 전류를 제어하며 영상의 왜곡, 이미지 이동 등에 관련된 기능을 수행한다. 스캔 제어기는 포토 멀티플라이어에서 얻어진 영상을 운영 프로그램에 전송하며 시편에 주

사되는 전자빔의 시간을 조종하는 등 영상 획득에 있어서 중요한 기능을 수행한다. 주 제어기는 주변 장치에 대한 초기화, 사용자 인터페이스 관리, 밸브 동작 상태 감시 등의 기능을 수행한다. 또한 포토 멀티플라이어에서 수집한 2 차 전자를 영상으로 변환하기 위해 이미지 그래버가 사용되고 있다. 그림 3 는 개발된 제어기중에서 빔 제어기를 보이고 있다.

### 3. 전자빔의 안정적 주사

#### 3.1 안정적 주사의 조건

전자빔 가공기가 올바른 패턴 형성과 전자 현미경에서 정확한 이미지를 얻기 위해서는 우선적으로 전자빔이 안정적으로 주사 되어야 한다. 안정적 주사를 위한 조건을 정리하면 다음과 같다.

. 가속전압의 불안정 및 부적합

가속 전압이 낮을수록 분해능은 떨어지나 시료에 따라(전자 현미경에서 생물 시료의 관찰) 낮은 가속전압을 사용하기도 한다. 보통 25KV 이상이 사용된다.

. 집속 렌즈의 축소율 부족

집속 렌즈의 축소율이 클수록 미세 패턴을 가공할 수 있으며 전자 현미경의 경우 보다 고배율을 볼 수 있게 된다.

. 경체내의 오염

전자빔 안정적 주사를 저해하는 원인 중의 하나는 대물 렌즈의 오염을 들 수 있다. 이것은 분해 및 조립을 통해 개선될 수 있다.

#### 3.2 안정적 주사를 고려한 설계

. 안정적 전자빔의 발생

전자빔 발생을 위해 필요한 전압은 가속 전압, 바이어스 전압 그리고 필라멘트 전압이다. 구성된 고전압 발생기는 0 - 30 KV 까지 조종이 가능하며 바이어스 전압은 약 1.3 KV 이다. 필라멘트 전압은 저전압 대전류의 특성을 지니며 약 8V 의 전압으로 고정된다.

. 고전압 발생기에 대한 입력 전원의 안정화

고전압 발생기에 대한 입력은 빔 제어기에서 생성되며 운영 프로그램으로부터 데이터를 전송 받는다. 빔 제어기는 고전압 발생기의 출력 전압 혹은 감시 전압인 에미션 전류값을 받아 A/D 컨버터를 거쳐 운영 프로그램에 전송한다. 에미션 전류는 고전압 발생기의 상태를 감시할 수 있는 중요한 요소이다.

. 집속 렌즈의 축소율 부족

시료 전류가 적게되면 전자 현미경의 경우에 있어서 미세 구조의 식별이 곤란하다. 따라서 조사

전류, 전자 프로브의 직경, 전자총의 휘도 및 대물 렌즈의 반개구각 등의 관계를 이용해 미세 구조에 대한 조사가 가능하도록 조종한다.

. 전자 렌즈 제어기의 안정적 구조

2 단으로 구성되어 전자빔을 집속하는 집속 렌즈는 전류의 양을 이용해 시료에 도달하는 전자의 양을 조종한다. 렌즈의 배치에서 마지막에 위치한 대물 렌즈는 최종적으로 초점을 조종하는 기능을 수행한다. 설계된 전자 렌즈 제어기는 집속 렌즈, 대물 렌즈, 스테그메이터, 이미지 쉬프트 코일 및 건 얼라인먼트에 흐르는 전류를 제어하게 된다. 통신부는 운영 프로그램으로부터 제어 변수의 값을 입력 받으며 그 값은 D/A 컨버터를 통해 전달된다. 전류의 크기를 조정하기 위해 기준 발생부를 구성하였다. 그림 4 는 전자 렌즈 제어기의 구성을 보이고 있다.

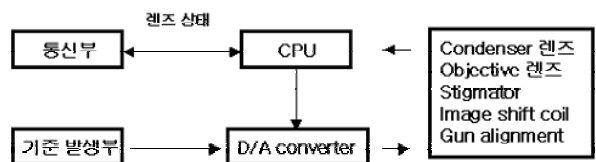


Fig. 4 Diagram for beam controller

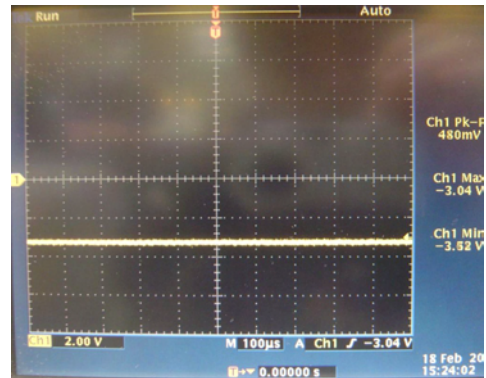


Fig. 5 집속 렌즈의 입력 전압

#### 3.3 최적 빔 주사의 결과

본 연구는 전자 현미경의 기능을 가지는 전자빔 가공기로 빔 주사의 적합성을 전자 현미경의 기능을 통해 확인하였다.

기능의 검증을 위해 전자 현미경에 적합한 시편을 만들어야 한다. 일반적으로 시편은 생물과 비생물로 나눌 수 있으며 고진공 환경과 전자빔 주사에 변형 및 파괴가 일어나지 않아야 한다. 개발중인 가공기의 전자 현미경 기능을 이용하여 확인한 결과 안정된 영상을 볼 수 있었으며 그림 6 은 200 배 확대 배율에서 얻어진 생물 시료를 보이고 있다.

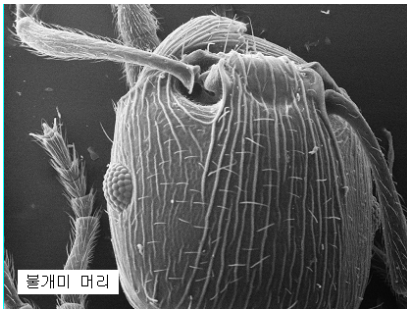


Fig. 6 Ant's head

#### 4. 결론

본 연구에서 개발중인 전자빔 가공기는 전자 현미경의 기능을 가지고 있으며 설계의 적합성을 전자 현미경을 통해 확인하였으며 다음의 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 전자빔 가공기에서 올바른 패턴을 형성하는 최적 빔 주사의 조건은 전자 현미경에서 올바른 영상을 보기 위한 빔 주사 조건과 일치한다.

둘째, 개발된 전자빔 가공기는 최적의 빔 주사 기능을 수행하였으며 이것을 전자 현미경을 통해 확인하였다.

셋째, 전자빔의 안정된 주사를 위해서는 가공 조건에 적합한 빔 주사와 운영자의 숙련도가 요구된다. 이를 위해 가공 조건의 변경에 따라 적합한 빔 주사를 위해 외부로부터 조건을 검색하여 수신하여 활용할 수 있는 기능과 원격 제어의 기능이 개발이 요구되고 있다.

#### 참고문헌

1. 산업자원부, “전자빔 응용 초미세 가공 시스템 개발 보고서”, pp 4-7, 2005.
2. W. M. Moreau, “Semiconductor lithography”, Plenum publishing corporation, 1988.
3. 일본전자현미경학회관동지부, “주사전자현미경”, pp 1-48, 1976.
4. 임선중, 강제훈, 이찬홍, “전자빔 가공기의 구성”, 한국정밀공학회 춘계학술대회, 05S406, 2005.
5. G. R. Brewer, “Electron-Beam Technology in Microelectronic Fabrication”, Academic press, pp 60-213, 1980
6. J. I. Goldstein and D. E. Newbury, “Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis”, Plenum press, pp 21- 270. 1992.