

## 전자빔 가공기의 제어기 구성

임선종\*, 강제훈, 이찬홍(한국기계연구원)

### Controller Design for Electron Beam Manufacturing System

S. J. Lim, J. H. Kang, C. H. Lee(Korea Institute of Machinery & Materials)

#### ABSTRACT

We have a plan to design a controller for electron beam manufacturing system. At first, we designed a controller for SEM. The controller consists of five parts (power source, beam controller, scanning controller, optic controller and main controller). Beam controller supplies pulse wave for generating high voltage and can monitor the status of high voltage instrument through emission current. Optic controller controls focus, spot size and image shift. Main controller transmits variables from operating program to each part and monitors the status of peripheral device.

**Key Words** : 전자빔 가공기, 고전압 발생 장치, SEM(Scanning Electron Microscope), 제어기(Controller), Beam Controller, Scan Controller, Optic Controller, Main Controller

#### 1. 서론

가공 형상의 크기가 100 nm 이하인 nano 가공의 방법으로는 전자빔 묘화(Electron beam lithography)와 소프트 엑스레이 묘화(Soft X-ray lithography), 이온빔 가공(Ion beam machining), STM 혹은 AFM 에 의한 분자 조작법 등이 있다.<sup>1</sup> 이들 중에서 전자빔 가공기는 전자빔을 에너지 전달 매개로 하여 기판 위의 원하는 위치에 전자빔을 주사하여 주사된 부분의 레지스트만이 감광되고 이후 기판상에 패턴을 형성시키는 장치이다.<sup>2</sup> 개발중인 전자빔 가공기의 기구적인 구성은 전자총, 전자 렌즈, 축조정 코일, stigmator, 진공용 stage, beam blanker 등이다. 각 구성 unit 들의 기능은 다음과 같다. 전자총은 광원으로 쓰이는 전자를 만들고 가속시키며, Electrode 와 filament 로 구성된다. 전자 렌즈는 전자가 자장에 의해 휘어지는 성질을 이용해 전자를 한 곳에 모으는 역할을 한다. 전자 렌즈는 condenser 렌즈와 objective 렌즈로 구성된다. 전자총의 중심축과 objective 렌즈의 중심축이 다른 경우 condenser 렌즈에 들어가는 전자선의 중심이 어긋나게 되며 이것은 분해능을 저하시키게 된다. 축조정 코일은 전자선의 중심이 condenser 렌즈의 중심축과 일치하도록 한다. Stigmator 는 오염물에 의한 산란 전자로

해상도가 떨어지게 되는 것을 전류를 통해 보완하는 역할을 한다. Beam blanker 는 시편 가공을 위해 일시적으로 beam 을 차단할 수 있는 기능을 한다. 진공용 stage 는 가공 대상물을 고진공 상태에서 이송하며 gas 발생이 없는 재질을 사용하고 있다.<sup>3,4</sup>

본 논문은 전자빔 가공기의 개발에 앞서 전자현미경의 제어기를 설계하였다. 설계 및 제작은 전원부, beam 제어부 및 전자 렌즈 제어부가 완료된 상태이며 scanning 제어부와 주제어기가 제작중이다. 향후 본 제어기는 수정을 거쳐 전자빔 가공기로 이용될 예정이다.

#### 2. 전자빔 가공기의 구성

고압 발생 장치에서 생성된 고전압은 전자총에서 전자빔을 발생 시킨다. 발생된 전자빔은 gun alignment, blanking plate, condenser 렌즈, objective 렌즈 그리고 stigmator coil 을 거쳐 시료에 닿게 된다. 각 부분은 운영 화면에서 제공되는 기능(초점, spot size, 상의 왜곡, image shift 등)과 연관되며 제어기는 각 부분에 흐르는 전류 혹은 전압을 제어하여 영상을 얻게 된다. 각 부분의 기능이 영상에 미치는 영향은 다음과 같다. Gun alignment 는 발생된 beam 이 slib의 중심에 올 수 있도록 한다. Condenser 렌즈는

2 개로 구성되며 spot size 를 결정하게 된다. 이것은 beam 의 직경을 변화시켜 선명도를 결정하게 된다. Stigmator coil 은 X, Y 로 구성되면 상의 왜곡을 조절하게 된다. Objective 렌즈는 상의 초점을 맞추는 역할을 수행하며 현재 course 와 fine 으로 구성되어 있다. 그림 1 은 전자빔 가공기의 구성 요소들을 보이고 있다.

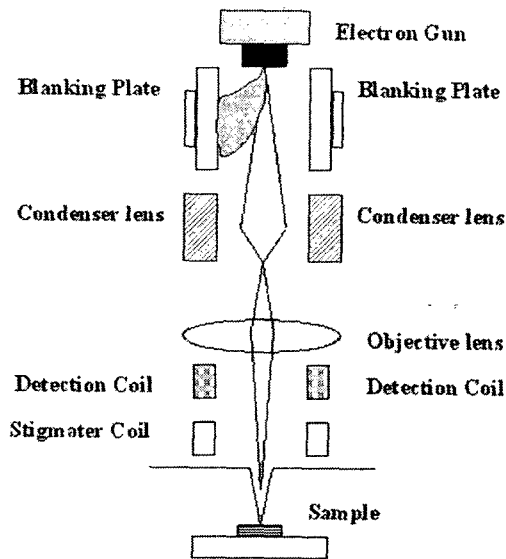


Fig. 1 Structure of electron beam manufacturing system

### 3. 전자빔 가공기의 제어기 설계

#### 3.1 SEM 제어기 구성

전자 현미경의 제어기는 전원부, beam 제어부, 전자 렌즈 제어부, scan 제어부 및 주 제어부로 구성하였다. 전원부는 각 제어부에 필요한 안정된 전원을 공급한다. Beam 제어부는 전자빔 발생에 직접적인 영향을 미치는 고압의 크기를 조정한다. 전자 렌즈 제어부는 condenser 렌즈, stigmator coil, objective 렌즈, gun alignment coil, image shift coil 에 흐르는 전류를 조정한다. Scan 제어부는 가공 대상물에 주사된 전자빔을 이동시키는 기능을 수행한다. 주 제어부는 운영 프로그램에서 설정된 각 변수를 각 제어부에 전송하며 주변 장치의 안전 점검 등의 기능을 수행한다. 운영 프로그램은 사용자에게 획득된 영상을 제공하며 사용자가 변수를 설정하는 경우 각 제어부에 전송하는 기능을 수행한다. 운영 화면에서 사용자는 영상의 초점, image shift, 가속 전압, bias 전압, filament 전압, sampling 수 및 상의 왜곡 등에 대한 내용을 결정할 수 있다. 운영 프로그램과 각 제어부는 시리얼 통신을 이용하며 간단

한 프로토콜을 통해 송신 및 수신된 데이터를 검증하고 있다. 그림 2 는 전자빔 가공기의 제어기 구조를 보이고 있다.

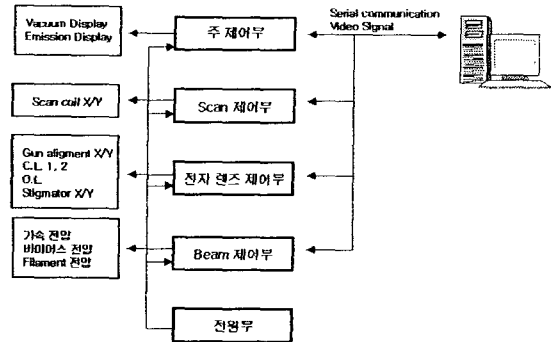


Fig. 2 Controller of electron beam manufacturing system

#### 3.2 전원부 설계

각 제어부에 필요한 전원을 공급한다. 공급되는 전원의 종류는 +5 V,  $\pm 12$  V, +15V,  $\pm 24$  V 이다. 전원부는 회로 개발의 편의상 통신용 모듈을 가지고 있다. 운영 프로그램에서 전송된 data 를 주 제어부, beam 제어부, 전자 렌즈 제어부로 송수신한다. 통신용 모듈의 구성은 그림 3 과 같다.

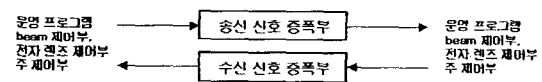


Fig. 3 Communication module

#### 3.3 Beam 제어부 설계

Beam 제어부는 운영 프로그램으로부터 가속 전압, Bias 전압 및 filament 전압 값을 입력 받아 고압 발생부의 입력 값을 제어한다. Beam 제어부는 CPU 부, D/A converter 부, 기준 전압 발생부, 통신부 및 펄스 발생부로 구성되어 있다. 통신부는 운영 프로그램에서 가속 전압, bias 전압 및 filament 전압에 대한 값을 받아 CPU 에 전달하며 beam 제어부의 결과인 가속 전압, emission 전류, bias 전압, filament 전압을 운영 프로그램에 전달한다. CPU 부는 통신부에서 전달된 프로토콜을 분석하여 가속 전압, bias 전압 및 filament 전압에 해당하는 값을 D/A converter 에 전달한다. D/A converter 부는 CPU 에서 전달된 데이터에 해당하는 아날로그 값을 출력한다. D/A converter 의 출력은 가속 전압, bias 전압 및 filament 전압이다. 펄스 발생부는 하드웨어 타이머를 이용해 펄스를 발생하며 고압 발생 장치에서 승압을 위해 이용된다. 기준 신호 발생기는 D/A converter 의 기준 입력 전압을 발생시킨다. 그림 4 는 beam 제어부의 block diagram 이며 그림 5 는 개

발된 beam 제어부를 보이고 있다.

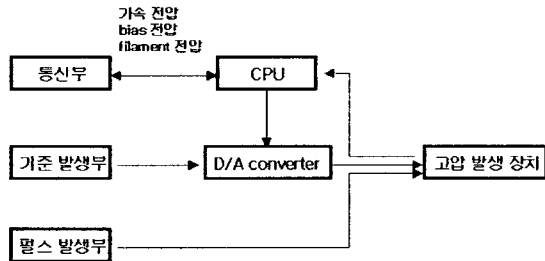


Fig. 4 Block diagram of beam controller

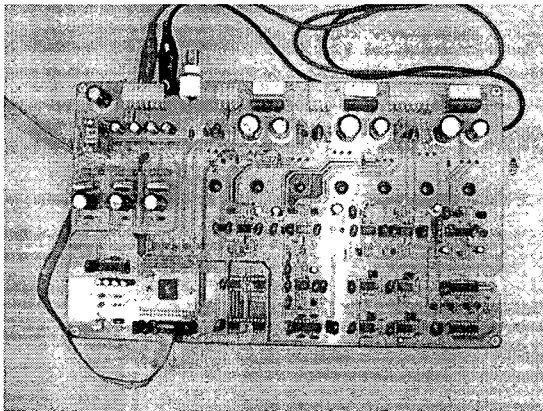


Fig. 5 Beam controller

Beam 제어부의 각 부분에 대한 주요 신호 파형은 그림 5, 6, 7 그리고 8 과 같다. 그림 5 는 D/A converter 의 출력 신호를 보이고 있다. 기준 신호는 LM431 에서 생성되며 8 bit 의 D/A converter 를 사용하고 있다.

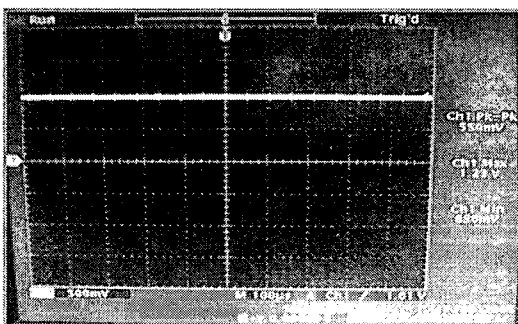


Fig. 5 Output for D/A converter

그림 6 은 하드웨어 타이머에 발생된 신호의 파형을 보이고 있다. LM 555 이 이용한 타이머는 고압 발생 장치에서 가속 전압의 승압을 위해 이용된다. 그림 7 은 filament 전압 발생을 위해 이용되는 신호

의 파형을 보이고 있다. 이 파형은 고압 발생 장치에 입력되어 이용된다. 그림 8 는 고압 발생 장치의 출력을 감시하기 위한 emission 전류를 측정하기 위해 이용되는 신호이다. 이 전류는 고압 발생 장치의 상태를 점검할 수 있는 중요한 신호이다.

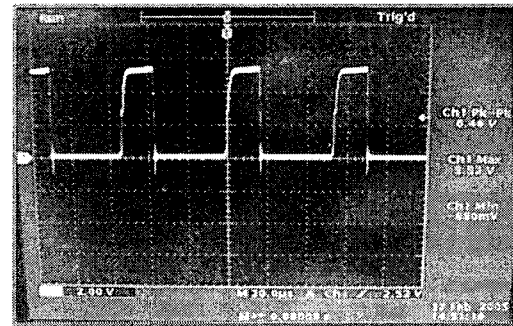


Fig. 6 Pulse of hardware timer

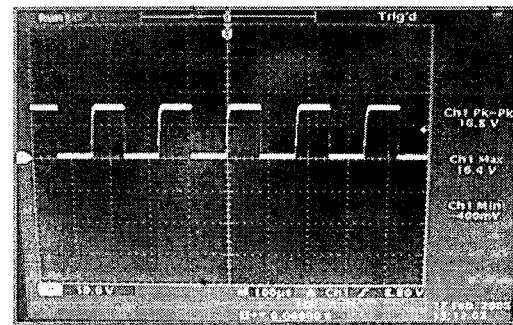


Fig. 7 Pulse for filament voltage

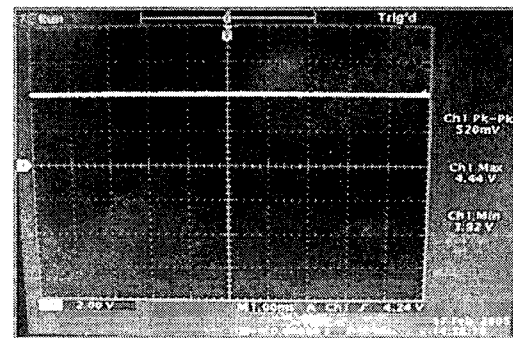


Fig. 8 Emission current

### 3.4 전자 렌즈 제어부 설계

전자 렌즈 제어부는 전자 현미경의 각종 전자 렌즈의 전류를 제어하는 기능을 수행하며 이는 운영 화면에서 사용자에게 초점, spot size, 상의 왜곡, image shift 등의 기능으로 제공된다. 전자 렌즈 제어부에서 제어하는 렌즈 및 coil 은 condenser 렌즈 2, objective 렌즈 2, stigmator coil 2, gun alignment 2, image shift coil 2 이다. 그림 9 는 제작된 전자 렌즈

제어부의 화면을 보이며 그림 condenser 렌즈의 전류를 제어하기 위한 출력 파형의 일부를 보인다.

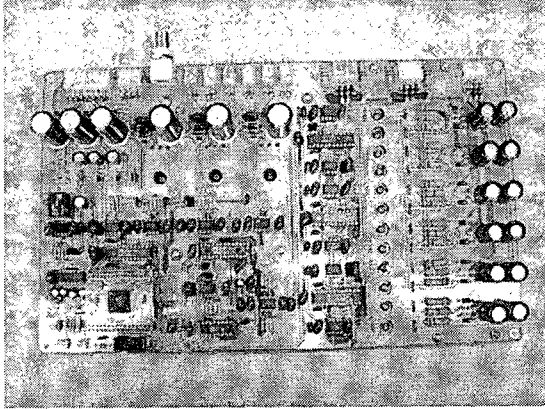


Fig. 9 Optic controller

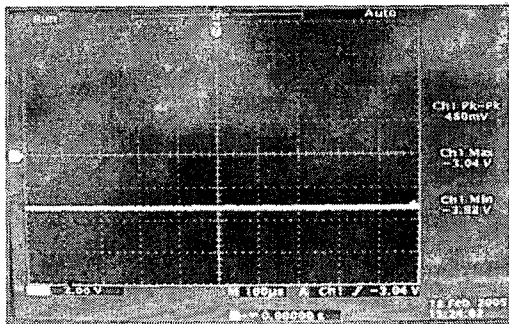


Fig. 10 Output of D/A converter for condenser lens

#### 4. 결론

전자빔 가공기를 위한 제어기는 먼저 전자 현미경의 기능을 수행하기 위해 주 제어부, beam 제어부, 전자 렌즈 제어부, scan 제어부 및 전원부로 구성하였다. 현재 제작 완료 및 진행중인 각 제어부의 기능은 다음과 같이 설계하였다.

(1) 전원부는 각 제어부에 안정된 전원을 공급하는 것을 목적으로 하며 다양한 종류의 전원을 생성한다.

(2) Beam 제어부는 가속 전압, bias 전압, filament 전압 발생에 필요한 전압을 생성하며 고압 발생 장치의 상태를 점검할 수 있는 emission 전류를 운영 프로그램으로 전송한다.

(3) Optic 제어부는 검출된 화상의 초점을 조절하는 등 전체적으로 화상의 질을 결정하는 변수들을 다루도록 설계하였다.

(4) 주 제어부는 운영 프로그램에서 전송된 변수를 각 제어부에 전송하며 주변 장치를 점검하는 기능으로 설계가 진행되고 있다.

#### 참고문헌

1. 산업기술연구회, ? 002 년도 기본사업 보고서, 2003.
2. 황인옥, 김재천, 주사전자현미경의 기초, 반도체출판사, 1994.
3. C. R. Brewer, Micron-Beam Technology in Microelectronic Fabrication, Academic Press, 1980.
4. J. I. Goldstein, Scanning Electron Microscopy and X-ray Microanalysis-a text for biologists, Materials Scientists, and Geologists, Plenum Press, 1992.