

## 전자빔 가공기를 위한 2 차 전자 검출기의 영상 노이즈 제거에 관한 연구.

임윤빈\*, 문홍만, 조현택, 백영종(성광정기|주), 이찬홍(한국기계연구원)

### A Study on image noise removal of 2<sup>nd</sup> electron detector for a E-Beam Lithography

Y. B. Im\*, H. M. Moon, H. T. Joe, Y. J. Paek(SKEM Co. Ltd), C. H. Lee(KIMM)

#### ABSTRACT

The electron beam machining provides very high resolution up to nanometer scale, hence the E-Beam writing technology is rapidly growing in MEMS and nano-engineering areas. For E-Beam machining, 2<sup>nd</sup> electron detector is required to see a machined sample at the stage. The 2<sup>nd</sup> electron detector is composed of scintillator and photomultiplier with signal amplifier and high voltage power supplier. Since a photomultiplier tube is an extremely high-sensitivity photodetector, the signal light level to be detected is very low and therefore particular care must be exercised in shielding external light. In this paper, the design methodology of 2<sup>nd</sup> electron detector and the image noise removal method are introduced.

**Key Words :** 2<sup>nd</sup> electron detector (2 차 전자 검출기), SEM (전자현미경), Photomultiplier tube (광 증폭기)  
Image noise removal(영상노이즈제거)

#### 1. 서론

오늘날 나노 크기의 가공과 이를 관찰하기 위한 전자현미경(SEM)의 역할과 비중이 더욱 커져가고 있다. 이중 전자빔 가공기는 전자빔을 주사하여 원하는 패턴을 직접 성형 하거나 마스크를 제작하는데 적용되며, 일반적인 광학식 노광장비에 비하여 30 nm 이하의 매우 높은 해상도를 얻을 수 있는 장점을 가지고 있다. 이러한 전자빔 가공기의 개발을 위해서는 에칭 공정 후 가공부위를 관찰할 수 있는 2 차 전자 검출기의 개발과 이에 필요한 제어 회로 구성 및 고압 발생 회로구성, 영상의 노이즈를 줄일 수 있는 기술 등이 요구 된다.

전자빔 가공기의 핵심 구성요소인 2 차 전자 검출기는 1 차로 발생된 전자가 시료와 부딪치어 발생되는 2 차 전자를 흡수하여 광전자로 변환하기 위한 신실레이터(Scintillator)와 전기장을 만들어 주는 고전압, 흡수된 2 차 전자를 증폭시켜 주기 위한 광전자 증폭기(Photomultiplier tube; PMT)와 구동에 필요한 고전압, 고전압의 분배를 안정화 하기 위한 블리더회로(Bleeder), 광전자 증폭기를 통과하여 나온 신호를 증폭시켜주기 위한 신호 증폭회로로 구

성되어 진다. 또한 외부로부터 들어오는 빛을 차단하고 시료와 알맞은 간격으로 떨어져 있도록 조절할 수 있는 기구부가 주요 구성요소 이다.

전자빔 가공기의 부속 기능인 전자현미경은 경통의 헤드 부분에서 텅스텐 필라멘트에 고전압을 인가하여 1 차 전자를 발생하게 된다. 이렇게 발생된 전자는 고압의 전압에 의해서 가속되어 경통내의 여러 개의 코일렌즈에 의해 spot 사이즈를 줄이고 슬리브를 지나 초점거리를 조절하여 시료에 도달하게 된다. 이렇게 도달한 전자는 스테이지 상의 시료와 부딪치어 2 차 전자를 발생시키고 발생된 2 차 전자는 2 차 전자 검출기의 앞단에서 발생시킨 고압의 전기장에 의하여 신실레이터에 도달하게 된다. 신실레이터는 이렇게 도달한 전자를 광전자로 변화하게 되고 이를 Light Guide 통하여 광전자 증폭기에 보내게 된다. 광전자 증폭기는 입력된 광전자의 양이 매우 작으므로 이를 여러 개의 Dynode를 이용하여 증폭 시키고 이렇게 만들어진 신호는 또 한번 증폭 회로를 통하여 신호를 키우게 된다. 이렇게 만들어진 신호는 디스플레이 장치로 보내어져 스테이지 위의 시료를 볼 수 있도록 처리된다.

본 연구에서는 설계된 전자빔 가공기의 영상을

관찰할 수 있는 2 차 전자 검출기의 주요 기구부 및 신호를 처리할 수 있는 회로, 고전압을 발생 시키는 회로의 제작 및 영상의 노이즈 제거에 관한 연구를 수행하였다.

## 2.2 차 전자 검출기의 동작원리<sup>1)</sup>

### 2.1 Photomultiplier tube.

전자빔 발생부로부터 발산된 전자에 의해 생성된 2 차 전자는 Photomultiplier tube 앞단에 발생 시켜 놓은 고전압의 전기장에 의하여 Photomultiplier 를 향하게 되고 전기장에 의하여 이끌려온 2 차 전자는 Scintillator 를 통과하며 광전자로 변환하게 된다. 변환된 광전자는 아래 Fig. 1 에 보여지는 것처럼 Photomultiplier tube 를 통과하며 증폭되게 된다.

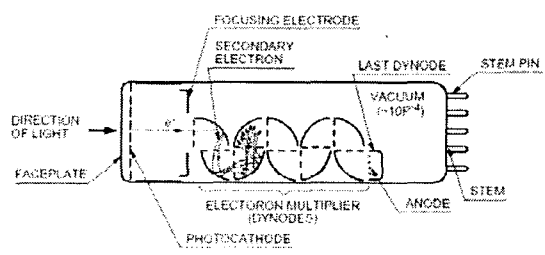


Fig. 1 Schematic of a Photomultiplier<sup>1)</sup>

자세히 살펴 보면 Photomultiplier tube 는 Fig. 1 에서 보여지는 것처럼 Faceplate 인 Photocathode 와 전자를 증폭시켜 주는 여러 개의 Dynodes, 그리고 전자를 집속 시켜 주는 Anode 로 구성되며 내부는  $10E-4$  Pa 정도의 진공을 유지하고 있다.

빛이나 광전자가 Photomultiplier tube 내로 들어오면 Photocathode 에 의해 tube 내로 광전자를 발산하게 된다. 발산된 광전자는 다시 focusing electrode 전압에 의하여 전자 증폭기인 Dynodes 로 향하게 된다. 그리고 여러 개의 Dynodes 에 의하여 2 차 방사 과정을 거치며 전자는 증폭되게 되고 최종적으로 증폭된 전자는 이를 수집하는 Anode 에 의하여 모여져 신호로 밖으로 보내어 지게 된다.

이 과정에서 중요시 되는 부분을 Fig. 2 에서 보여주는 실험값에서 얻을 수 있다. Photomultiplier tube 는 완벽한 어두운 공간에서 동작 할 때조차도 아주 작은 양의 전류값이 흐르게 된다. 이 출력 전류를 Dark Current 라고 부르는데 이 값은 이상적으로는 아주 작은 값이어야 한다. 이유는 Photomultiplier tube 는 아주 작은 광전자나 빛을 이용하여 전류를 만들고 이를 증폭 시키기 때문이다. Dark Current 의 발생 원인은 Photocathode 와 Dynode

의 열전자 방사 전류에 의한 영향도 있지만 Photomultiplier tube 를 감싸고 있는 구조물의 틈으로 들어오는 외부 빛의 영향도 고려하여야 한다. 그러므로 Photomultiplier 의 구조물 제작에 고려 되어야 한다.

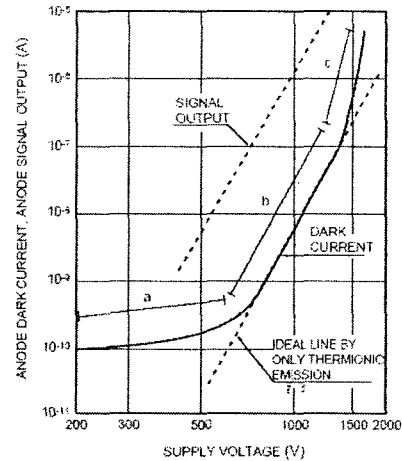


Fig. 2 Typical dark current vs. supply voltage Characteristic<sup>1)</sup>

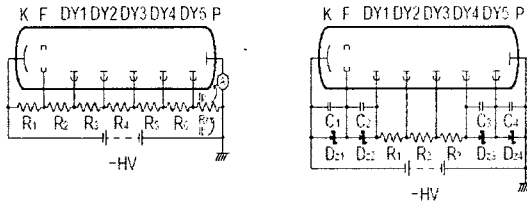
Fig. 2 는 전형적인 공급전압에 따른 Dark Current 의 특성 곡선을 보여주고 있다. 곡선에서 알 수 있듯이 Dark Current 는 공급전압이 증가 함에 따라서 증가하나 선형적으로 증가하지는 않는다. 또한 이 특성곡선에서 보면 공급전압의 크기에 따라 a, b, c 의 영역으로 분류 할 수 있는데 그 각각에서 여러 가지 누설 전류나 열전자 방사 전류 등의 영향을 받아 그 값이 증가함을 볼 수 있다. 일반적으로 영역 b 부분이 신호와 노이즈 비율이 좋기 때문에 Photomultiplier tube 는 이 영역 안에서 동작 하여야 가장 이상적인 값을 가지고 동작 한다.

## 2.2 Photomultiplier 동작 회로<sup>1,3)</sup>

### 2.2.1 전압분배 회로

Photomultiplier 의 동작을 위해서는 500~3000 V 의 고전압이 필요하고 또한 Photomultiplier tube 의 각 구성요소에 적당한 전압으로 분배해 주어야 한다. 이 역할을 담당하는 회로가 바로 전압 분배 회로 이다. 이런 전압분배의 역할을 담당하는 소자는 주로 저항을 사용하지만 때때로 제너다이오드를 사용하기도 한다. Fig. 3 의 (a)는 분배회로가 저항만을 사용한 경우이고 (b)는 제너다이오드가 사용된 경우이다. 이때 분배 회로를 가로지르는 전류의 양은 다음 식으로부터 얻어진다.

$$I_b = \frac{V}{(R_1 + R_2 + \Lambda + R_6 + R_7)} \quad (1)$$



(1) (2)  
Fig. 3 Voltage-divider Circuit

(2)의 그림은 (1)과 다르게 제너다이오드와 캐패시터가 사용이 되었는데 제너다이오드는 Photomultiplier tube 에 안정적인 전압을 공급하기 위해 사용되었고 캐패시터는 제너다이오드에서 발생하는 노이즈를 최소화 하기 위해 부착되어 Photomultiplier 가 안정적인 노이즈 영역에서 동작할 수 있도록 도와준다.

### 2.2.2 고전압 발생 및 출력신호 증폭회로

Photomultiplier tube의 Photocathode로부터 방사된 광전자는 focusing electrode 나 가속전압에 의하여 첫 번째 Dynode로 입사하게 된다. 이 과정에서 다시 2 차 전자가 발생하게 되고 계속되는 과정에서 광전자는 최소 0.1 에서 최대 10 만배 정도 증폭되게 된다. 전류의 증폭은 cathode와 anode 사이에 인가된 고전압의  $10^{+6} \sim 10^{+10}$ 배 만큼 비례한다. 따라서 인가해 주는 고전압의 크기는 매우 안정적이어야 한다.

Photomultiplier tube 에서 증폭된 신호를 다시 한번 증폭시켜 주는 증폭회로는 고전압이 인가되기 전에 연결 되어져야 한다. 그렇지 않으면 Dark Current 의 발생과 함께 회로에 고장을 일으킬 수 있다.

### 2.2 영상 노이즈 제거

Photomultiplier tube 는 매우 작은 양의 전자를 증폭시켜 영상을 얻기 때문에 외부의 빛이나 전기장과 자기장 등의 영향에 의해 영상의 노이즈가 커질 수 있다. 가장 크게 영향을 미치는 외부로부터 유입되는 빛을 차단하여 이의 신호가 증폭되는 것을 막아야 한다. 또한 증폭된 신호는 광전자로 이동하기 때문에 전기장이나 자기장에 의해 쉽게 영향을 받을 수 있다. 따라서 케이스의 제작에 전기

장과 자기장을 동시에 차폐할 수 있도록 설계하는 것이 중요하다. 다음으로 고전압을 인가하여 각각의 소자를 동작 시키기 때문에 고전압의 안정화와 이의 안정한 분배가 영상 노이즈를 줄이는데 중요한 변수이다.

## 3.2 차 전자 검출기 설계

### 3.1 전체구성도

Fig. 4 와 같이 2 차 전자 검출기를 구성하였다. 2 차 전자 검출기의 맨 앞단에는 전자를 광전자로 바꾸어 줄 수 있는 신실레이터가 위치하고 그 뒤에 Light Guide 가 위치하여 광전자의 이동경로를 만들어 준다. 그 다음에 Photomultiplier tube 를 위치시켜 입사된 광전자를 증폭 시키게 된다. Photomultiplier 뒤에 전압분배기를 설치하여 고압의 전압을 안정적으로 공급하고 Photomultiplier 로부터 나온 신호를 다시 한번 증폭 시켜 차후에 우리가 모니터를 통해 시료를 볼 수 있도록 처리 된다. 그 이외에도 시료에서 나온 전자를 인위적으로 흡수하기 위하여 걸어주는 전기장을 만들기 위한 고전압 발생기와 모든 사항이 진공에서 처리되므로 기구부의 각각의 위치에 진공을 유지 할 수 있도록 처리 되었다. 각 연결부위는 외부의 빛이 들어가지 않도록 하였으며 Photomultiplier 의 이송장치를 부착하여 향후 고배율이나 필요에 의해서 움직여야 할 경우를 대비하였다.

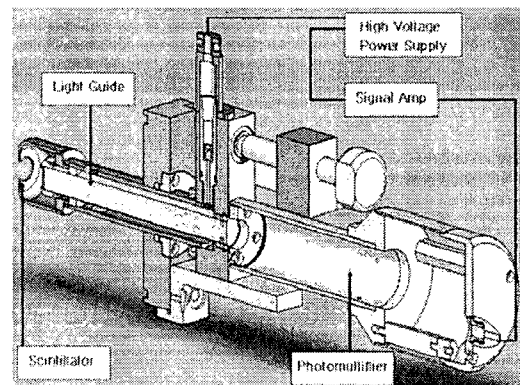


Fig. 4 Schematic of 2<sup>nd</sup> electron detector

Fig. 5 는 실제로 제작된 Photomultiplier 를 이용한 2 차 전자 검출기의 실제 모습과 전자현미경에 장착되어 있는 사진이다.

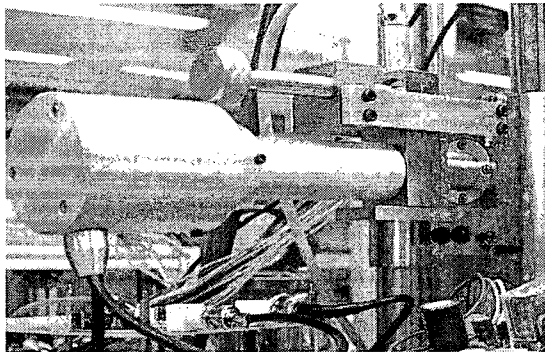


Fig. 5 Photograph of assembled 2<sup>nd</sup> electron detector

### 3.2 외부의 빛을 차단하는 케이스 설계

Photomultiplier tube의 케이스는 우선적으로 tube의 안전한 보호에 목적이 있지만 그 외에도 중요한 3가지의 기능을 가지고 있도록 설계되었다.

#### 3.2.1 외부로부터의 빛의 차단

Photomultiplier tube 극도로 민감한 광검출기이다. 검출 되는 광전자의 양이 매우 작기 때문에 외부로 빛의 진입을 차단하여야 한다. 입력이나 출력을 위하여 사용되는 연결부, 결합 연결부위나 나사가 들어 가는 곳 등에 신경을 써야 한다. 이러한 빛의 차단을 위해서 구성요소의 결합부에는 검정색의 실리콘 고무를 사용하여야 한다. 또는 검정색 테이프나 검정색 O-ring등을 결합부에 사용하는 것도 중요하다. 또한 제작한 케이스의 내부에 검정색 칠을 해 주어 빛의 반사나 산란을 막아 줄 수 있도록 하여야 한다.<sup>2</sup>

#### 3.2.2 Electrostatic Shield

Photomultiplier tube는 알루미늄과 같은 금속으로 제작 되어 외부의 정전기장에 대하여 효과적으로 차단할 수 있도록 접지를 만들어 유지해 주어야 한다. 그러나 접지라인이 Photomultiplier tube 내부의 빛을 차단하는 케이스의 역할을 방해해서는 안 된다. 또한 Photomultiplier tube와 케이스가 너무 가까우면 노이즈가 증가 할 수 있으므로 Photomultiplier tube와 케이스를 충분히 떼어놓아야 한다.<sup>2</sup>

#### 3.2.3 Magnetic Shield

Photomultiplier tube는 자기장에 매우 민감하다. 또한 Photomultiplier tube는 매우 높은 자기장 영역에서 사용되고 있기 때문에 자기 차폐가 필요하다.

그러나 자기장을 차폐할 수 있는 물질은 전도성이 높은 재료가 아닌 투자율이 높은 재료이어야 하기 때문에 외부의 자기장을 차폐하기 위해서는 투자율이 높은 재료로 Photomultiplier tube를 감싸야 한다. 일반적으로 Permalloy라는 투자율이 높은 재료를 이용하여 원통형 차폐케이스를 만들어 Photomultiplier tube를 감싸 효과적으로 자기장을 차폐 할 수 있다.<sup>2</sup>

## 4. 결론

본 연구에서는 Photomultiplier tube를 이용하여 고배율의 시료의 영상을 얻기 위하여 Photomultiplier tube의 다용도 차폐 케이스를 제작하였다. 또한 노이즈를 최소화 하기 위하여 케이스의 제작과 연결회로에 다음과 같은 방안을 설계에 반영하였다.

(1) 외부로부터의 빛이 들어오지 않도록 케이스 연결부 설계

(2) 외부의 전기장과 자기장의 영향이 최소화 될 수 있도록 케이스의 재료를 선정하여 설계

(3) 2 차 전자 검출기의 안정화 동작을 위하여 필요한 전압 분배회로 및 고전압 발생 회로 설계

그 이외에도 Photomultiplier tube로부터 발생되어 나오는 신호를 다시 한번 증폭하여 디스플레이 장치로 보내어 줄 수 있는 증폭회로, 광전자 수검과 Photomultiplier tube 동작을 위한 고전압 발생 회로를 구축하였다.

2 차 전자 검출기는 적은 양의 광전자를 받아 들여 그 신호를 10 만배 이상 증폭시켜 영상을 만들기 때문에 초기에서부터 입력되는 노이즈는 마지막 영상에 매우 큰 문제점들을 만들어 낼 수 있으므로 케이스의 제작이나 회로 구성 및 조립시 각각의 과정에서 생길 수 있는 문제점들을 최소화 하여 제작되었다.

## 참고문헌

1. Hamamatus Co. Photomultiplier tube handbook,
2. Hamamatus Photonics Catalog Accessories for Photomultiplier tubes,
3. McGraw-Hill Electronic Circuit Discrete and Integrated," International Student Edition.
4. Andrea K., Russell D.Y., New method for reduction of Photomultiplier Signal-Induced Noise, NASA/TM-2000-209836
5. 황인옥, 김재천 공역 "주사전자현미경의 기초, 일본 전자현미경학회 관동지부편, 2001.