

# 전자빔 블랭킹의 고속 응답 제어를 위한 정전방식의 블랭커 Electric-type Electron Beam Blacker for High-speed Control Technology

\*이종현, 최재성, 권순근, 임동현, #김수현, 곽윤근<sup>1</sup>, 최성욱, 조대연, 문건우<sup>2</sup>  
\*J. H. Lee, J. S. Choi, S. G. Kwon, D. H. Lim, #S. H. Kim(soohyun@kaist.ac.kr), Y. K. Kwak<sup>1</sup>,  
S. W. Choi, D. Y. Cho, G. W. Moon<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 한국과학기술원 기계공학과, <sup>2</sup> 한국과학기술원 전기및전자공학과

Key words : Electron beam, Beam blacker, High-speed

## 1. 서론

전자빔의 분해능은 단순히 전자빔의 스폿(spot) 사이즈에 의해서만 정해지는 것이 아니며, 전자빔 감광제(E-beam resist)나 기관 내부에서 발생하는 전자빔의 산란이나, 기관으로부터의 후산란(back-scattering)에 의해서도 많은 영향을 받는다. 이를 근접효과(proximity effect)라고 부르는데, 이로 인해 선폭의 형상이 번지게 되므로 선폭을 줄이는데 방해가 된다. 이를 해결하기 위해 재료적인 관점에서 감광제를 개선하는 연구들이 많이 진행되고 있으나, 아직 뚜렷한 성과가 나타나고 있지 않고 있다. 따라서 하드웨어 관점에서 해결할 필요가 있는데, 최근에는 전자빔의 입사주파수를 크게 높여 단위 시간당 감광제에 입사되는 전자의 양을 줄임으로써 선폭이 번지는 것을 방지하려는 시도들이 행해지고 있다. 이를 위해서는 전자빔 블랭커의 응답속도가 증가되어야 한다. 전자빔 블랭커는 크게 정전기방식(electric type)과 전자기방식(electro-magnetic type)으로 나뉘는데, 최근 고속응답에 대한 요구가 커지면서 응답속도가 빠른 정전기 방식의 블랭커가 선호되는 추세이다. 본 연구를 위해서 정전기 구동 방식의 빔 블랭커 장치 하드웨어를 설계 및 제작하고, 고속 스위칭 논리 회로의 설계 및 제작을 수행하였다.

## 2. 전체 시스템 블록

전체 시스템은 수 MHz의 동작속도 구현을 정전기 방식의 빔 블랭커 모듈과 고전압, 고주파를 갖으며 펄스폭을 조절할 수 있는 Voltage generator 및 Pulse generator로 구성된다.

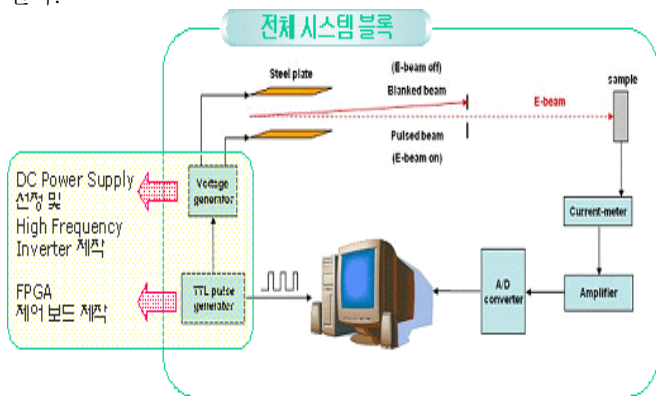


Fig. 1 Overall system block diagram of E-beam blacker

## 3. 빔 블랭커 장치의 하드웨어 설계 및 제작

정전기 구동 방식의 빔 블랭킹 장비는 Fig. 2와 같이 두 개의 평행한 금속 plate가 이루는 평행판에 고전압, 고주파의 입력신호를 인가하여 일정한 크기의 전기장을 형성하게 된다. 이 때 전기장을 지나는 전자빔이 양전하로 대전된 plate로 편향거리(y)를 가지고 진행하게 되어 블랭킹이 일어나게 된다. 전기장에 의한 힘(F)은 식(3.1), 편향거리(y)는 식(3.2)와 같이 표현된다.

$$F = ma = qE = q \frac{V}{d} \tag{3.1}$$

$$y = \frac{1}{2}at^2 = \frac{1}{2} \frac{qV}{md} \left( \frac{L}{v_z} \right)^2 \tag{3.2}$$

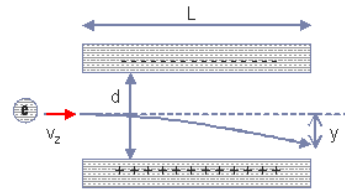


Fig. 2 Parallel metal plate of electric type E-beam blacking module

본 연구에서는 위 식에 기초를 두어 여러 평행판의 간극(d)에 대해서 평행판의 길이(L)에 따른 편향거리(y)의 관계를 알아봄으로써 적합한 평행판의 거리를 정할 수 있었다. Fig. 3의 그래프는  $v_z = 58.45 \times 10^6 \text{ m/s}$ 로 설정하고, 여러 간극(d=1,2,3mm)에 대해서, 동일한 조건(V=200Vpp)에서 전자빔의 편향거리를 나타내는 그래프이다. 그래프에서 수평선으로 표시된 부분은 각각의 간극의 절반 값에 해당하는 값으로서, 전자빔의 평행판에 부딪히게 될 때의 평행판의 길이 크기를 알아볼 수 있다.

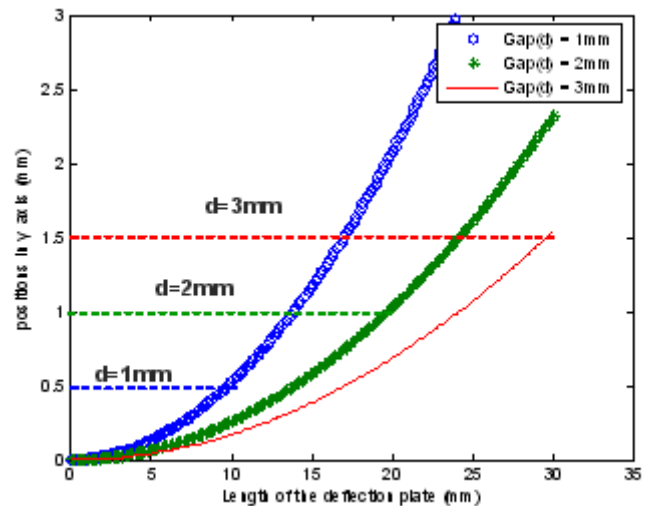


Fig. 3 Position in y axis and length of the deflection plate according to d=1, 2, 3mm

또한 실제 SEM 환경에서 장착이 되었을 때 기계적인 결함오차에 의하여 발생할 수 있는 오차요인에 대한 분석을 실시하였다. 오차 요인으로는 (i)빔 블랭킹 플레이트의 중심선에 대해서 offset 값을 가지고 입사되는 경우, (ii)금속 plate의 전자빔의 입사축에 대한 회전 오차각을 가지는 경우, (iii)빔 블랭킹 plate의 기울어짐(tilting) 오차 각을 가지는 경우로 나누어 분석하였다. (i)의 경우, 편향거리(y')는 3

가지 경우 중 가장 큰 오차 요인이 된다. (ii)의 경우는 10° 이내의 최대 회전 오차각을 고려해 보았을 때, 그 오차가 매우 적다. (iii)의 경우는 기울어짐 각도에 대해서 평행관의 길이가 길수록 편향거리의 오차가 커짐을 알 수 있다. 위의 기계적 결합요인에 대한 에러 요인 분석을 통하여, 제작된 빔 블랭커 장비의 경우, 기울어짐 오차각 및 회전 오차각에 따른 거리 오차는 매우 적은 것을 확인할 수 있었다. 그러나 offset 오차에 대해서는, offset 오차만큼의 크기가 그대로 편향거리 오차에 반영되므로 그 오차가 매우 큼을 알 수 있다

**4. 고속 스위칭 논리 회로의 설계 및 제작**

Lithography 를 하기 위해서는 Electron 의 편향을 제어해야 하므로 Blanker 의 steel plate 에 최고 1MHz 주파수에 최고 300V 진폭의 구형파를 인가해야 한다. 이를 위해서는 DC 전원장치 및 고전압 고주파 인버터가 필요하다. 또한 PC 의 패턴링 정보에 따라 고전압 고주파 인버터의 동작이 결정 되어야 하므로 PC 와 고전압 고주파 인버터를 연결하기 위한 FPGA 제어 보드가 필요하다.

Voltage Generator 는 앞서 언급한 바와 같이 고전압 고주파 인버터와 DC 전원장치로 구성되어 있다. 1MHz 로 리소그래피 정보가 변화하므로 구형파의 상승 시간 및 하강 시간은 각각 수십 ns 의 매우 빠른 시간이 요구된다. 또한 300V 의 매우 높은 고전압이 요구되므로 Half bridge Inverter 를 이용하여 전력단을 설계하도록 한다. 이러한 설계요건에 따라 E-beam blaker 의 전체 회로를 Fig. 4 와 같은 모식도로 나타내었다.

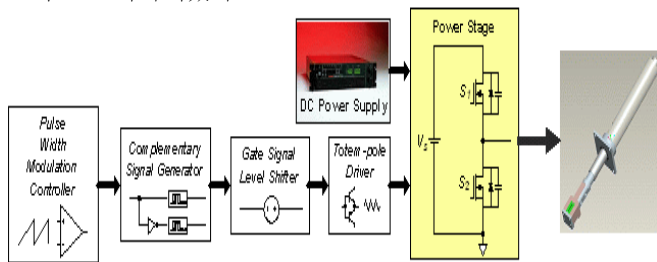


Fig. 4 Overall circuit of E-beam blaker

약 1m 의 동축 케이블을 이용해 제작된 Voltage generator 와 앞서 제작된 blaker 의 steel plate 를 연결하고 blaker 의 양단 전압을 오실로스코프로 실측하여 동작을 검증하였다. Fig. 5 는 전원 전압이 300V 일 때 Voltage generator 출력 파형( $V_{DS2}$ )과 blaker 양단 전압 파형( $V_{Cb}$ )이 도시되어 있다. 또한 전원 전압에 따른 blaker 양단 구형파의 상승/하강 시간 및 전력소비가 Table 1 에 나타나 있다.

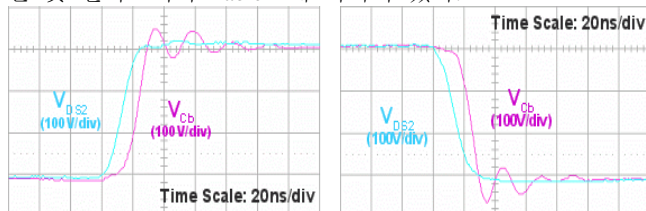


Fig. 5 Rising & falling interval of output voltage without damper

Table 1 Comparison of measured roughness data

| 전원전압( $V_S$ ) | 상승시간( $t_r$ ) | 하강시간( $t_f$ ) | 전력소비( $P_S$ ) |
|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 200V          | 25ns          | 28ns          | 13.8W         |
| 300V          | 29.4ns        | 32ns          | 28.2W         |

전원 전압이 300V 일 때 모의실험의 전력 소비는 약 14W 이고 극성 변화 시 블랭커 전압이 안정하지만 실측한

전력소비는 그보다 두 배 큰 것을 알 수 있었으며 블랭커 양단 전압 또한 rising 이 발생하는 것을 알 수 있었다. Blaker 전압의 오실레이션을 제거하기 위해서 블랭커에 직렬로 damper 를 삽입한다. 블랭커가 캐패시턴스 성질이 있기 때문에 구형파의 극성 변화 시 직렬기생저항에서 소비되는 에너지는  $0.5 C_b V_S^2$  으로 전원전압이 동일하면 전력 소비가 일정하므로 damper 를 직렬로 삽입해도 추가적인 전력 손실이 발생하지는 않는다. Damper 를 삽입하고 실험한 결과를 Fig. 6 에 도시하였다. 전원전압 300V 일 때 전력 소비는 28.2W 로 damper 삽입 전과 동일하며 다만 구형파의 상승 및 하강 시간이 각각 60ns 와 72ns 로 증가하였다.

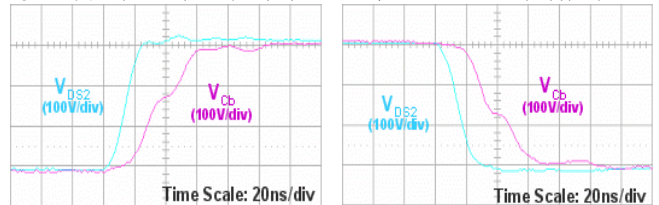


Fig. 3 5 Rising & falling interval of output voltage with damper

**5. 결론**

본 논문에서는 고전압, 고주파수로 작동하기에 적합한 정전기 방식의 빔 블랭커 모듈의 설계 및 제작을 위하여, 두 개의 빔 블랭킹 plate 사이의 2 차원적 전기장 분포를 고려한 빔의 편향거리를 예측하여 빔 블랭킹 plate 를 설계할 수 있었고, 이에 가장 적합한 회로 토폴로지를 선정하고 이를 제어하기 위한 고속 스위칭 제어회로를 설계 및 제작하였다. 이를 통하여 주파수 1MHz, 진폭 300V 로 작동함을 확인하였다.

하지만 산업계의 요구를 만족하기 위해서는 더 큰 주파수로 작동하는 빔 블랭커가 필요하다. 작동 주파수가 높아지게 되면, 전자빔의 떨림 현상을 해결해야 하며, 고전압을 더 빠르게 스위칭할 수 있는 회로가 필요하다. 이는 추후 과제로 진행될 예정이다.

**후기**

본 연구는 한국기계연구원 기본사업의 지원으로 이루어진 결과임.

**참고문헌**

1. V. Auzelye *et. al.*, "The beam blanking system for microlithography at Lund Nuclear Microprobe", *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 219-220, pp.4585-4589, 2004.
2. M. Furuki *et. al.*, " Electron Beam Recording with a Novel Differential Pumping Head Realizing More than 50GB/Layer Capacity Disc", *Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 42, Part 1, No. 2B*, pp759-763, 2003.
3. Y. Wada *et. al.*, "High-Density Recording Using an Electron Beam Recorder", *Jpn. J. Appl. Phys. Vol.40, Part 1, No. 3B*, pp. 1653- 1660, 2001.
4. US patent, "High accuracy beam blaker", # 5,276,330, 1994. Jan
5. M. Gesely *et. al.*, "Electron beam blaker optics", *J. Vac. Sci. Technol. B* 8 (6), pp. 1666 - 1672, 1990.
6. M. Gesely *et. al.*, "Electrodynamics of fast beam blankers", *J. Vac. Sci. Technol. B* 11 (6), pp. 2378 - 2385, 1993.