

# Microcolumn 을 위한 새로운 개념의 초소형 전자빔 deflector

한창호, 김학, 전국진  
서울대학교

## A New Miniaturized Electron-Beam deflector for Microcolumn

Changho Han, Hak Kim, Kukjin Chun  
Seoul National University  
E-mail : id@mintlab.snu.ac.kr

### Abstract

본 논문에서는 microcolumn 을 위한 초소형 전자빔 deflector 의 제작방법과 microcolumn array 에서 deflector 의 외부 패드를 최소화 할 수 있는 새로운 배선방법을 기술하였다. 배선의 통로 및 절연체 역할을 하는 Pyrex glass 의 양쪽에 각각 실리콘 웨이퍼의 양극접합 및 deep reactive ion etching(DRIE)과 금속 전기 도금을 이용하여 다층배선을 하였다. 이 배선방법을 이용하면 microcolumn array 가 수백개가 되더라도 deflector 의 외부 패드는 항상 8 개를 유지할 수 있다.

너지를 이용하기 때문에 근접효과(proximity effect)와, 감광막과 기판의 온도상승 문제가 줄어든다.

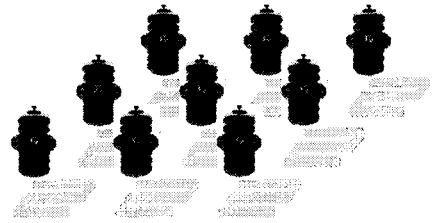


그림 1. microcolumn array 개념도

### I. 서론

전자빔 리소그래피는 100nm 이하급 리소그래피가 가능한 기술로 여겨지고 있지만 매우 낮은 생산성이 문제가 되는데 이를 해결하기 위해서 IBM 의 T.H.P. Chang 에 의해 microcolumn 이 제안되었다. microcolumn 은 기존의 수십 cm 이상의 전자총을 수 mm 정도로 초소형화한 것으로 이를 여러 개 배열할 경우 그 개수만큼 노광 속도가 빨라져 생산성이 증가하는 것이다. 또한 microcolumn 의 제작은 MEMS(MicroElectroMechanical Systems) 기술을 이용하기 때문에 제작이 용이하고 column 의 소형화로 인하여 빔의 왜곡현상(beam distortion)을 최소화 할 수 있으며, 약 1KeV 의 낮은 에

현재까지 2x2 column 의 제작까지 완성되었는데 그 이후의 기술의 발전에 장애가 되는 원인 중 하나로 각 part 의 배선 문제가 있다. Column 의 수가 많아질수록 배선수의 증가가 큰 문제가 되는데 그 중에서 전자빔을 편향시켜 원하는 패턴을 노광하는 deflector 의 배선수는 각 deflector 를 octupole(8 개의 전극으로 이루어진 deflector) 로 제작한다면 column 수가 n 개가 될 때 8n 의 배선이 필요하다. 따라서 column 수가 많아지면 deflector 의 배선만으로도 엄청난 문제를 야기시킬 수 있다.

본문에서는 이를 해결할 수 있는 배선방법을 제안하고 이를 바탕으로 MEMS 기술을 이용하여 초소형 전자빔 deflector 를 제작하였다.

## II. deflector 의 구동원리

전자빔을 편향시켜 원하는 패턴만을 노광시키는 역할을 하는 deflector 를 구동하는 방법으로는 크게 전기력에 의한 방법과 자기력에 의한 방법으로 나눌 수 있는데 본 논문에서는 전기력에 의해 구동하는 deflector 를 다룬다.

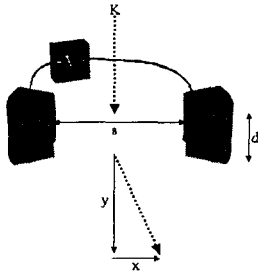


그림 2. deflector 개념도

구동원리를 살펴보면 그림 2 에서 보듯이 마주보는 두 개의 전극 사이에 전압차  $V$  가 생기면 전극거리  $s$  에 반비례하는 전기력,  $\frac{eV}{s}$  ( $e$ : 전자 하나의 전하량)이 생기게 되고 이 힘으로 전자빔을 원하는 만큼 편향시키게 된다. 이 때 편향된 거리  $x$ 를 계산하면

$$x = \frac{d}{2s} \times \frac{y}{K} V + \frac{d^2}{4s} \times \frac{1}{K} V$$

여기서  $d$  는 전극의 높이,  $s$  는 전극 사이의 거리,  $V$  는 전극 양단 전압차 그리고  $K$  는 전자의 가속전압이다.

위 식에서 첫째항은 전극을 벗어난 전자빔의 편향거리이고 둘째항은 전극 안에서 편향된 거리를 나타내는 식이다. 일반적으로 둘째항은 무시하지만 초소형화된 deflector 에서는 그 크기를 비해 무시할 수 없기 때문에 고려를 해주어야 한다.

또한 위 식에서 보듯이 편향거리는 전극 양단의 전압차  $V$  에 비례하게 된다.

Microcolumn 에서 요구되는 1KeV 의 가속전압을 갖는 전자빔을 1mm 의 working distance 에서 100um 이상 편향시키기 위해 전극의 높이  $d$  는 300um, 전극 사이의 거리  $s$  는 1mm 로 설계하였다.

## III. deflector 의 배선 구조

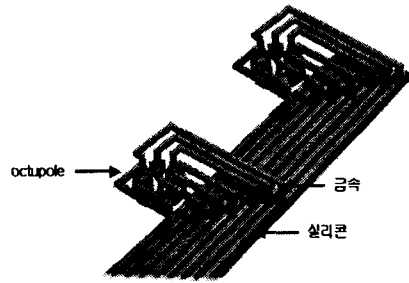


그림 3. 다층 배선 구조

Microcolumn 이 array 가 되면 각 deflector 에서 pad 까지 총  $8n$  ( $n$  은 column 수)의 배선이 필요하기 때문에 단층으로 배선을 할 경우 각각이 서로 연결되는 것을 피할 수 없다. 따라서 그림 3 과 같이 금속과 실리콘을 이용하는 2 층 배선을 제안하였다. 금속과 실리콘 사이의 절연체인 Pyrex glass 는 전체 구조물의 지지 및 구멍을 뚫어 금속과 실리콘이 접촉할 수 있게 하는 배선의 통로역할을 하였다.

## IV. 제작

본 절에서는 앞 절에서 제안한 구조를 제작하는 방법과 제작 결과에 대하여 설명한다.

제작 공정은 다음의 그림 4 에 나타나 있다.

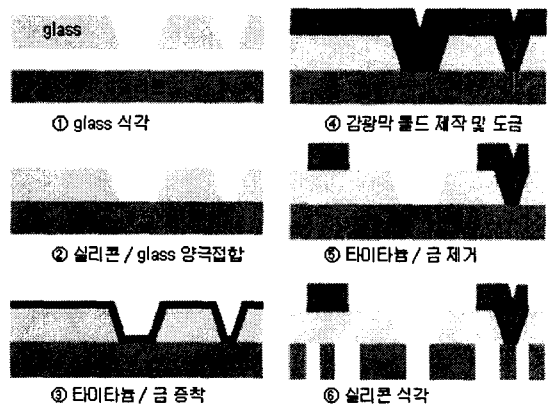


그림 4. 제작 공정

### V. 측정

먼저 400um 두께의 glass 에 실리콘과 금속이 접촉통로가 되는 300um 크기의 구멍을 뚫기 위해 100um 두께의 DFR(Dry Film Resist)를 식각마스크로 sand-blast 공정을 이용하는데 공정의 특성상 경사각을 갖게 되어 나중에 전기도금을 위한 seed layer 증착에 유리하다. 다음으로는 glass 와 비저항이  $0.6 \times 10^{-2} \Omega \text{ cm}$  로 매우 작은 300um 두께의 실리콘 웨이퍼를 450℃, 1000V 에서 양극접합을 이용해서 불인 다음 glass 면에 seed layer 로 타이타늄과 금을 스퍼터링으로 증착한다. 그리고 나서 40um 두께의 감광막(PMER N-CA3000PM, TOK) 으로 도금을 위한 mold 를 만든다. 이 때 glass 의 구멍 안에 감광막이 조금이라도 남게 되면 그 부분에 도금이 되지 않으므로 O<sub>2</sub> 가스를 이용해서 감광막 scum 을 충분히 제거 해주어야 한다.

도금물질로는 비저항이  $1.7 \times 10^{-6} \Omega \text{ cm}$  으로 매우 작은 구리를 선택하였고 20um 두께로 도금을 하였다. 그리고 나서 감광막과 seed layer 를 각각 전용 솔벤트, 왕수, 불산을 이용하여 제거하였다. 마지막으로 실리콘 웨이퍼를 2um 두께의 산화막을 마스크물질로 deep RIE 공정을 이용하여 식각을 하였다. 식각된 실리콘웨이퍼는 거의 90 도의 profile 을 얻을 수 있었다.

제작 결과는 다음의 그림 5 에 보는 것처럼 위의 그림은 1 개의 column 에 대한 전면, 후면의 사진이고 아래그림은 3x3 column 의 전면, 후면 사진이다. 왼쪽의 두 사진을 비교하면 둘 다 pad 바깥쪽에 8 개만이 존재함을 볼 수 있고 따라서 column 수가 많아지더라도 확장할 수 있는 구조임을 확인할 수 있다.

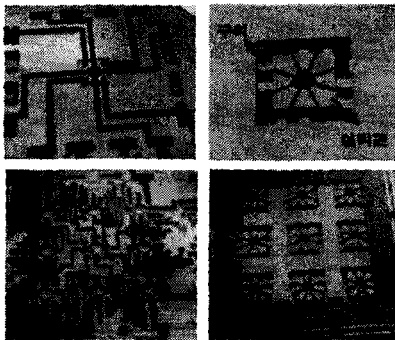


그림 5. 제작 결과

본 절에서는 측정 방법 및 측정 결과에 대해서 설명한다.

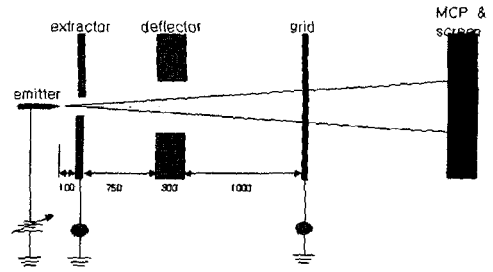


그림 6. 측정 방법

측정은 진공 챔버내에서 진행하였고 실험장치는 그림 6 과 같이 설치하였다. 측정에 쓸 전자빔을 방출시키기 위해서 그림에서 보는 것처럼 extractor 에 0V, 전자총(emitter)에 음전압을 걸어서 전압차를 주었다. 실제 측정에 쓰인 전자빔은 emitter 에 -200V 를 걸어서 200eV 의 가속에너지를 갖도록 하였다. 측정방법은 deflector 전극 양단에 전압을 변화시키면서 MCP 에 나타나는 신호로 편향각을 잰 다음 working distance 1mm 에 고정되어 있는 grid 에서 얼마나 편향되는지를 환산하여 측정하였다.

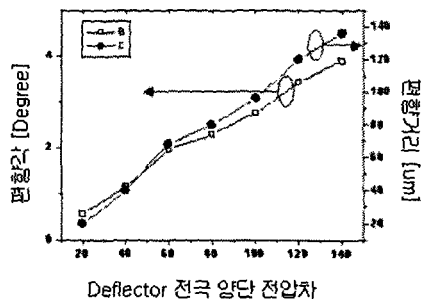


그림 7. 측정 결과

측정결과는 그림 7 과 같고 그림에서처럼 deflector 양단 전압차에 따라 편향거리가 거의 선형적으로 변화

는 것을 볼 수 있다. 그림에서 기울기는 거의 1로 II 절에 구동원리에서 구한 이론적인 기울기인

$$\frac{x}{V} = \frac{d}{2s} \times \frac{y}{K} + \frac{d^2}{4s} \times \frac{1}{K} = 0.8625 \text{ 보다 크게 나오는데 그 이}$$

유는 deflector 전극 사이에서만 전기장이 형성되는 것이 아니라 fringing field 에 의해 전극 밖에서도 전기장이 형성되기 때문에 전기력이 더 커진 것으로 생각된다.

## VI. 결론

본 논문에서는 microcolumn 에 적합한 크기가 작고 array 가 가능한 새로운 개념의 초소형 deflector 의 구조를 제안하였다. 그리고 이를 바탕으로 MEMS 기술을 이용하여 pyrex glass 의 양면에 금속과 단결정 실리콘으로 2 층 배선 구조가 되는 deflector 를 제작하였다. 측정 결과로부터 deflector 의 전극 양단의 전압차에 따라 편향거리가 선형적으로 변하는 것을 확인할 수 있었고 200eV 의 에너지를 갖는 전자빔으로 전극사이의 전압이 140V 일 때 1mm 의 working distance 에서 약 140um 의 편향거리를 얻었다. 실험결과로부터 본 논문에서 제안된 deflector 의 배선방법 및 제작 방법은 microcolumn 에 적합한 방법임을 확인할 수 있었다.

## 참고문헌

- [1] T.H.P. Chang and D.P. Kern, "Arrayed miniature electron beam columns for high throughput sub-100nm lithography", J. Vac. Sci. Technol. B 10(6), 1992, pp2743-2748
- [2] H.S. Gross, F.E. Prins, D.P. Kern, "Fabrication and characterization of an array of miniaturized electrostatic multipoles", Microelectronic Engineering 41/42, 1998, pp489-492
- [3] C.Stebler, T.Pfeffer, U.Staufer, and N.F. de Rooij, "Microfabricated double layer octupoles for microcolumn application", Microelectronic Engineering 46, 1999, pp401-404
- [4] Zhixing Liu, Jiye Ximen, "A study of miniaturized electrostatic octupole deflectors", Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 363, 1995, pp225-231