

탄소나노튜브 기반의 엑스레이 발생을 위한 게이트 설계

Gate Design for generation of CNT based X-ray

*최해영¹, #김종욱¹, 조은주¹, 임교근¹, 윤면근², 김종배², 김종필³, 박진석³

*H. Y. Choi¹, #J. U. Kim(jukim@keri.re.kr)¹, E. J. Cho¹, K. K. Im¹, M. G. Youn², J. B. Kim², J. P. Kim³, J. S. Park³
¹ 한국전기연구원 의료 IT 융합연구본부, ² LStech(주), ³ 한양대학교 전자정보시스템공학과

Key words : CNT, Laser patterning, Field emission, X-ray

1. 서론

최근 들어 탄소나노튜브(이하, CNT)를 전자빔원으로 하여 전계방출을 이용한 응용제품 개발에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. CNT는 길이가 수 μm 이면서 직경이 수 nm 밖에 되지 않아서 전기장이 인가되었을 때 tube 끝에서 그 전기장은 아주 강하게 증폭된다. CNT의 field enhancement factor는 튜브의 구조에 따라서 다소 차이는 있지만 약 2500~10000 정도로 측정된다. 높은 enhancement factor 때문에 CNT에서는 전계방출이 수 $\text{volt}/\mu\text{m}$ 에서 가능하다. 그리고 CNT는 물리적으로 매우 단단하며, 전기전도성 또한 우수하다. [1~3] 본 논문에서는 CNT의 이러한 특성을 엑스레이 튜브에 응용하기 위하여 CNT로부터 전자를 효율적으로 방출하기 위한 게이트 제작 연구를 진행하였다. 이후 본문에서는 이렇게 제작된 CNT 음극 및 게이트를 합쳐서 전자원이라 명칭하겠다. 본 논문에서 연구 제작된 전자원의 게이트는 $30\mu\text{m}$ 의 두께를 가지는 메쉬 형태의 그물망으로 개방률은 약 75% 가량 되며, 이번 논문에서는 이렇게 제작된 전자원을 이용하여 전계방출특성 평가까지 측정 하였다.

2. 게이트 설계

게이트는 재질 및 두께에 따라 가공법이 달라지며, 본 논문에서는 스테인레스 스틸을 레이저로 패터닝하는 기법을 사용하여 제작을 하였다. 제작되는 게이트의 크기는 CNT를 전자방출원으로 하는 X-ray tube에 장착될 모듈의 크기에 맞추어 설계가 되었으며, 외경은 8ϕ 이고, 전자빔을 추출하여 양극쪽으로 보내는 역할을 하는 실질적인 게이트 부분의 크기는 6ϕ 로 설계되었다. 게이트의 선두께는 $30\mu\text{m}$ 이며, 게이트 홀 간의 간격은 0.12mm 로 개방률이 약 75%에 해당되는 구조이다. Fig 1은 이렇게 설계된 게이트의 구조를 보여주는 도면이다.

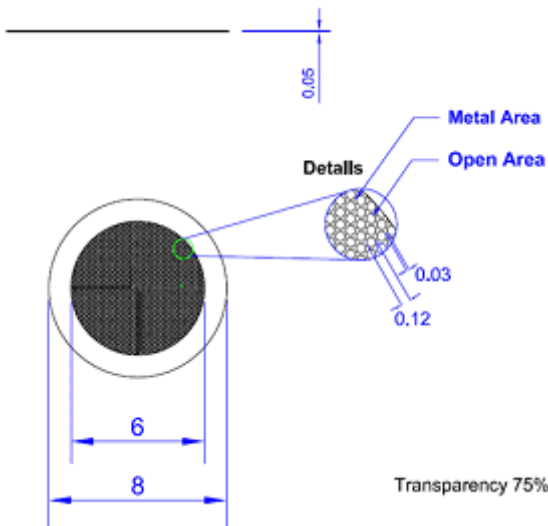


Fig. 1. Cad draws of grid for extracting electron beam from CNT cathode

3. 게이트 제작 및 전계방출 실험

게이트 제작을 위하여 본 연구에서는 Fig 2에서 보여주는 산업용 레이저 패터닝 장비를 이용하였으며, 스테인레스 스틸 재질의 금속을 패터닝하기 위하여 조사되는 레이저 빔의 직경은 약 $12\mu\text{m}$ 이고, $10\text{W}@355\text{nm}$ 의 파워를 사용하였다. 레이저를 조사할 때 주파수는 약 5kHz 였다.

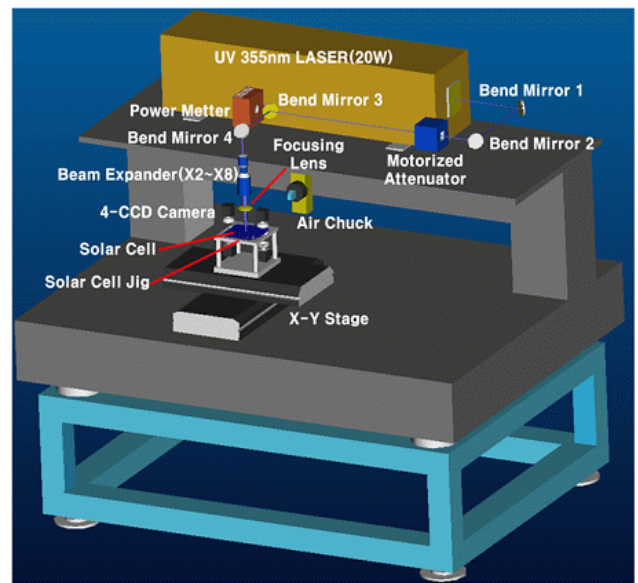


Fig. 2. 3D Image of Laser fine patterning instrument

Fig 3은 Fig 2의 장비를 이용하여 제작한 게이트의 실제 모습을 나타낸다. 또한 Fig 4는 Fig 3에서 제작된 게이트를 전자현미경을 이용하여 확대한 영상을 얻은 사진이다.

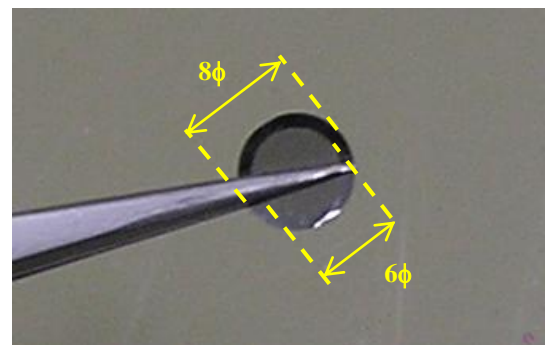


Fig. 3. Real picture of patterned grid for using as gate of CNT based X-ray source

표 1에서 알 수 있듯이 실제 제작된 게이트의 홀 크기는 $100.68\mu\text{m}$ 이며, 홀 사이의 간격은 평균 $32\mu\text{m}$ 였다. 따라

서 제작의 오차율은 설계상의 홀 크기 대비 실제 홀 크기의 차이에 대한 비율로 나타낼 수 있다. 오차율이 16.1%로 계산되고 따라서 정밀도는 약 83.9%로 계산될 수 있으며 홀 사이의 간격에 대한 정밀도에 대한 공차는 패터닝시 하나의 홀을 형성한 후 레이저 조사 위치를 변경하여 다음 홀을 가공하기 위한 위치로 이동하는 스테이지의 이동에 대한 거리차이 비율로 약 8.86%의 오차를 가지며 따라서 정밀도는 91.14%로 나타내 질 수 있다.

Table 1 arbitrary value of hole & gap between holes size

Hole	A	B	C	D	F	Ave.
Hole size (μm)	101.438	103.993	103.314	102.3	92.33	100.6804
Gap between holes(μm)	32.434	33.273	35.510	32.434	29.639	32.658

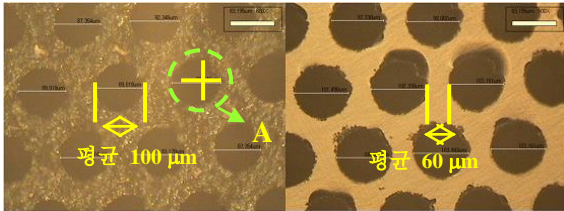


Fig. 4. Zoomed images of grid using an electron microscope

또한 형성된 홀의 모양에 대한정밀도는 Fig 4 A 와 같이 홀 내경을 수직방향으로 측정하여 그 길이 차이를 평균한 값의 비율로 계산하며 본 연구에서 제작한 게이트는 약 80%의 정확도를 가지는 것으로 확인 되었다. 게이트의 구조가 고르지 못하면 전계 형성 시 고른 구조의 전기장이 형성되지 못하여 게이트의 일정 부분에 전계가 집중되는 현상을 초래하게 되고 이로 인하여 CNT 로부터 전자가 방출될 때 아킹 등의 악역양을 미치게 된다. 이러한 영향성을 시험해보기 위하여 본 연구에서 제작된 게이트를 이용하여 CNT 전자원의 전계방출 테스트를 해보았으며 그 결과는 Fig 5. 에서 보는 바와 같고, 이 실험은 2×10^{-6} torr 의 진공도에서 진행되었다. 게이트와 CNT 음극 사이의 간격을 600μm 으로 장착하여 테스트를 하였으며, 이때 게이트에 약 600V 의 전압을 인가하였을 때 전자가 방출되기 시작하였고, 1000V 정도의 전압에서 $120\text{mA}/\text{cm}^2$ 의 전류밀도를 나타내며 전자를 방출하였다.

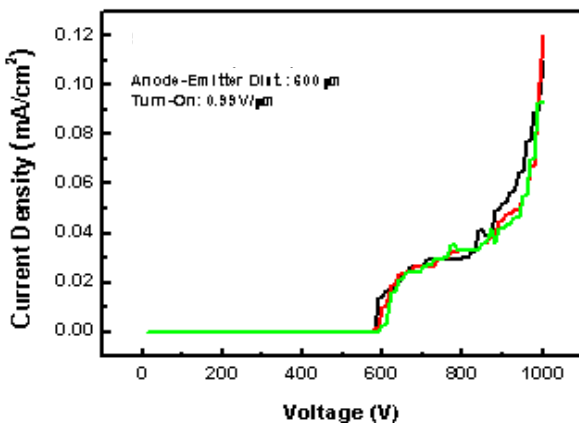


Fig. 5. Field emission results using pin type cathode

이 논문에서 보여주지는 않지만 이렇게 제작된 전자원의 수명은 약 1 시간 정도로 측정되었다. 이러한 결과는 본 실험에서 0.3φ 크기의 핀타입 음극 기관에 CNT 를 성장시켜 사용하였기 때문에 음극에 대한 전계 집중도가 높아 고밀도 전류는 방출 되었으나 CNT 가 성장될 수 있는 기관의 면적이 작으므로 성장된 CNT 의 양이 적어지게 되고 따라서 각각의 CNT 에 대하여 전류방출 부담률이 커지게 되어 CNT 의 산화가 빨리 일어나기 때문으로 예상된다.

4. 결론

앞에서 서술한 바와 같이 전계방출을 이용한 전자방출원에 있어서 게이트의 역할은 매우 중요하다. 게이트의 공정 정밀도에 의하여 전계의 구조에 변화가 좌우되며, 이로 인하여 전자의 발생 및 양극으로의 가속 경로에 영향이 미치게 되고 그 결과로 엑스레이 이미지 분해능에 결정적인 역할을 하게 되는 전자빔 집속률에 변화를 가져오기 때문이다. 본 논문에서는 이러한 게이트의 구조를 정밀하게 제작하기 위하여 레이저를 이용한 패터닝 방법을 사용하였으며, 그 결과 83% 정도의 홀 정밀도를 측정할 수 있었다. 앞으로의 연구는 홀 하나하나의 모양에 대한 균일도를 증가시키는 공정조건 연구를 할 예정이며, 이 공정이 가능하게 될 경우 보다 효율적으로 전자를 발생 시키며 양극으로의 전자 집속률이 높은 엑스선 관을 제작 할 수 있을 것으로 판단된다.

후기

본 논문은 대한민국 중소기업청의 산학연협력 기업부설연구소 설치 지원사업 과제번호 “S6081300211”의 지원을 받아 진행되었습니다.

참고문헌

1. 물리학과 첨단기술. January February 2003, p24
2. J. M. Bonard et al, Appl. Phys. Lett. 73, 918 (1991)
3. K. A. Dean et al, Appl. Phys. Lett. 79, 1873 (2001)