2003 추계학술발표회 논문집
한국원자력학회

마이크로 전자빔 개별세포 조사 실험장치에서의 검출계통

Detection System in KIRAMS Electron Microbeam System

정진원, 선광민, 최희동
서울대학교
서울특별시 관악구 신림동 산56-1

김은희, 최명철, 송기백
원자력의학원
서울특별시 노원구 공릉동 215-4

요 약

저흡수선량을 조절할 수 있는 마이크로 전자빔 개별세포 조사 실험장치를 소개하고 본 연구의 핵심영역인 검출계통을 기술하였다. 마이크로 전자빔 검출계통의 최종목적은 70 keV 전자빔을 이용하여 개별세포의 흡수선량이 0.2 Gy 이하가 되도록 구현하는 것이다. 그리고 입사전자에 의해 방출되는 이차전자를 측정함으로써 개별세포에 조사되는 입사전자를 실시간 계측할 수 있도록 검출계통을 설계하였다.

Abstract

The electron microbeam system under development in KIRAMS(Korea Institute of Radiological & Medical Sciences) is introduced and the detection system is described in this study. The aim is that absorbed dose of cell by electron microbeam of 70 keV is restricted to below 0.2 Gy. The real time measurement system is designed to measure the secondary electrons emitted from the vacuum window by incident electrons, which transmit the vacuum window and is incident on the cell.

1. 서 론

마이크로 전자빔 개별세포 조사 실험장치 개발은 표적세포에 저선량을 인가함으로써 관찰되는 세포의 영향평가를 목적으로 하며, 전자선원 장치 구축, 전자빔 수송라인 설계 및 검출계통 구축, 세포 영상 판별 및 위치 제어 시스템 구축으로 나눌 수 있다. 본 연구에서는 검출 시스템 구축을

수행하고 있다. 세포 내 저선량 조사를 위한 microdosimetry 실험 장치개발은 U.K. Gray lab.과 Texas A&M 등에서 활발히 진행되고 있다. 본 연구에서 제작중인 마이크로 전자빔 개별세포 조사 실험장치는 여타 장치와 다른 특징을 가지고 있다. 타 장치에서는 전자선원으로 비교적 규모가 큰 전자 가속기를 사용한 반면 본 연구에서는 전자선원으로 소규모의 전자총(electron gun)을 선택하였다. 이는 저에너지, 저선량을 구현할 수 있는 측면에서도 목표와 잘 부합된다. 또한 세포 조사시, 이차전자를 측정함으로써 실시간으로 세포에 조사되는 전자 개수를 조절할 수 있는 점에서도 타 장치와 구별된다. 현재 장치 개발을 위한 상세 설계를 마쳤으며, 장치 제작을 진행중이다. 본 연구에서는 검출계통의 설계개념을 요약하고 이차전자 발생물질 선정 및 입사빔의 에너지와 전류 결정요건을 기술하였다.

2. 마이크로 전자빔 개별세포 조사 검출계통 개념설계

본 연구의 최종 목표는 개별세포에 0.2 Gy 이하의 저선량 조사 장치를 위한 검출계통을 구현하는 것이다. 전자선원으로부터 인출된 전자는 검출계통을 거쳐 표적세포에 도달한다. 입사전자의 에너지 및 빔 전류의 결정은 저선량 구현의 가장 중요한 요소이므로 전자총의 특성을 고려하여 적절한 가속전압과 빔 전류를 결정하는 것이 중요하다. MCNP 모사코드를 이용하여 입사전자 에너지에 따른 각 구조물에서의 에너지 손실을 계산하고, 두께 0.01 mm pinhole의 내구성 등을 고려하여 입사전자 에너지를 70 keV로 정하였다. 이때 세포 내 흡수선량이 0.2 Gy 이하가 되기 위해서는 대략 100 200 개의 전자가 조사되어야 한다.

빔 측정 방법으로서는 세 가지를 들 수 있다. 첫째, 투과용 검출기를 사용하여 세포에 조사와 동시에 입사 전자를 측정하는 방법이다. 그러나 현재 상용으로 쓰이는 검출기 두께가 최소 수백 μm이기 때문에 수십 keV 전자빔의 경우 세포에 도달하기 전, 검출기에 모두 흡수되어 실용화하기 어렵다. 둘째, 세포 조사 전후에 세포의 위치에 놓인 검출기로 측정한 입사빔의 양으로 실제 세포 조사시 입사빔의 양을 대체하는 방법이다. 하지만 이 방법은 실시간 측정이 불가능할 뿐 아니라 세포 조사 중 또는 전후의 환경을 동일하게 구현하기 어렵다. 셋째, 본 연구에서 처음으로 시도하는 방법으로서 입사전자에 의해 眞空窓(또는 진공창에 증착한 이차전자 방출물질)에서 방출되는 이차전자를 측정하여 간접적으로 세포에 조사되는 입사전자의 양을 측정하는 것이다[1,2]. 그림 1(a), (b)는 본 장치의 측정원리를 나타내었다. 그림 1(a)와 같이 세포의 위치에 놓인 PIPS 검출기로 pinhole을 통과한 입사전자를 측정하고, 동시에 MCP(Microchannel plate)로 진공창에서 방출되는 이차전자를 측정함으로써 PIPS 검출기로의 입사전자 수와 진공창에서 발생하는 이차전자의 수를 검정한다. 실제 세포 조사시는 그림 1(b)와 같이 세포에 조사되는 전자의 개수를 세포조사와 실시간으로 측정되는 이차전자 수를 이용하여 간접적으로 측정한다.

그림 2에 진공창 주변의 검출기 구성도를 상세히 나타내었다. 진공창의 직경을 입사빔의 deflection을 고려하여 충분히 넓은 5 mm로 하였다. 또한 이차전자 방출경로를 방해하지 않기 위하여 진공창을 지지하는 구조물에 45° 각을 내어 제작하였다. 이차전자 측정부는 MCP, 입사빔 측

정부는 반도체 PIPS 검출기를 선정하였다. 입사 빔의 직경은 1 mm이며 검출기 중앙에 입사전자의 경로를 방해하지 않기 위하여 MCP의 center hole을 2 mm로 주문 제작하였다. 표적 세포핵의 크기가 5 10 μm임을 고려하여 pinhole의 직경은 5 μm로 하였다. 표 1, 2, 3에 전자총, MCP 그리고 PIPS 검출기의 주요 특성을 나타내었다[3-5]. 이차전자 방출물질로부터 생성된 이차전자의 에너지는 최대 수십 eV로 예상된다. 이차전자가 MCP에 도달하기 위해서는 12.5 mm를 진행해야 한다. MCP로의 이차전자 포집 효율을 향상시키고 MCP의 최적 효율에 가까운 에너지를 갖도록 이차전자를 가속시키기 위하여 MCP 표면과 진공창 사이에 대략 +800 V의 전압을 인가한다. 그림 3에 검출계통 모듈 구성도를 나타내었다.

3. 이차전자 발생물질

진공창에서 발생하는 이차전자의 개수가 많을수록 세포에 조사되는 흡수선량을 보다 정확히 평가할 수 있다. 이를 위해서는 이차전자 발생 수율이 높은 물질의 선정, 빔 입사면적의 최대화, 저지능에 따른 빔 에너지 최적화 등의 조건들을 충족시켜야한다. 장치 내의 진공유지를 위한 진공창으로써 Mylar를 선정하였다. Mylar는 입사빔의 에너지 손실이 적어야 하며 빔의 deflection을 최소화해야 한다. 이를 위해서는 두께가 가급적 얇아야 하는데, 진공과 공기중의 압력 차를 고려하여 두께를 2 μm로 하였다[6]. 이차전자의 발생은 빔이 표적을 투과할 경우 크게 전방과 후방으로 발생한다. 본 연구에서는 후방으로 방출되는 이차전자를 검출할 예정이다. 전방으로 생성된 이차전자는 에너지가 최대 수십 eV이기 때문에 공기층 및 진공함에 의해 저지되며, 이는 다시 진공함의 표면에서 저지되어 접지를 통해 빠져나간다. 이차전자 생성 물질을 선정함에 있어서, 최초 Mylar에서만 생성되는 이차전자 측정을 고려하였으나 Mylar는 절연체이기 때문에 연속적으로 전자가 입사할 경우 수율이 급격히 저하되는 단점이 있다[7]. 이를 보완하기 위하여 비교적 전도성이 좋고 이차전자 발생 수율이 높은 전도성 물질을 진공창 위에 증착할 예정이다. 증착 물질로서 탄소, GaP 등을 선정하였다. 탄소의 경우 입사전자의 에너지가 70 keV일 때 대략 0.1의 이차전자 방출 수율을 갖고 증착이 쉽다는 장점이 있다. GaP의 경우 상대적으로 수율이 높으나 증착이 어렵다[8]. 대략 50 Å 내외로 탄소가 증착된 진공창의 경우, 입사빔의 전류를 100 nA, 빔 직경을 1 mm, pulse width를 30 μs로 설정할 때, MCP에 검출되는 이차전자 수는 약 6×10^5 개이며, 세포에 조사되는 전자수는 약 180 개이다. 이때 ±13%의 상대오차를 갖는다.

4. 결 론

마이크로 전자빔을 사용한 개별세포 조사장치에 구성할 검출계통의 설계개념을 요약하였다. 진공창에서 발생하는 이차전자를 측정함으로써, 세포에 조사되는 전자를 실시간으로 측정 할 수 있도록 검출계통을 설계하였다. 또한 빔 수송중의 에너지 손실, 이차전자 방출수율 등을 고려하여 전자총의 가속전압과 빔전류 결정요건을 기술하였으며, 최종 빔 특성 결정에 활용될 예정이다. 추

가로 이차전자 방출수율 증대를 위한 방법을 제시하였다. 이러한 연구가 실현된다면 세포 조사와 동시에 흡수 선량을 평가할 수 있을 것이다.

참고문헌

1. W. Slowko and H. Prasol, “Micro-sphere plate as an electron detector at low vacuum”, Vacuum 67 (2002) 191.
2. W. Slowko, “Electron signal acquisition in HPSEM”, Vacuum 70 (2003) 157.
3. Kimball Physics Inc., “EGH-8102 / EGPS-8102 electron gun and power supply system”, 2002, Wilton, NH, USA.
4. J.L. Wiza, “Microchannel plate detectors”, Nucl. Instr. and Meth. 162 (1979) 587.
5. Detector catalog, El-Mul Technologies Ltd., “http://www.el-mul.co.il/Detectors_Catalog.pdf”.
6. M. Mapes and W.J. Leonhardt, “Design of large aperture, low mass vacuum windows”, J. Vac. Sci. Technol. A11 (1993) 1587.
7. A. Shih, et. al., “Secondary electron emission studies”, App. Surf. Sci. 111 (1997) 251.
8. H.R. Krall, et. al., “Recent developments in GaP(Cs)-dynode photomultipliers”, IEEE Trans. Nucl. Sci. NS-17 (1970) 71.

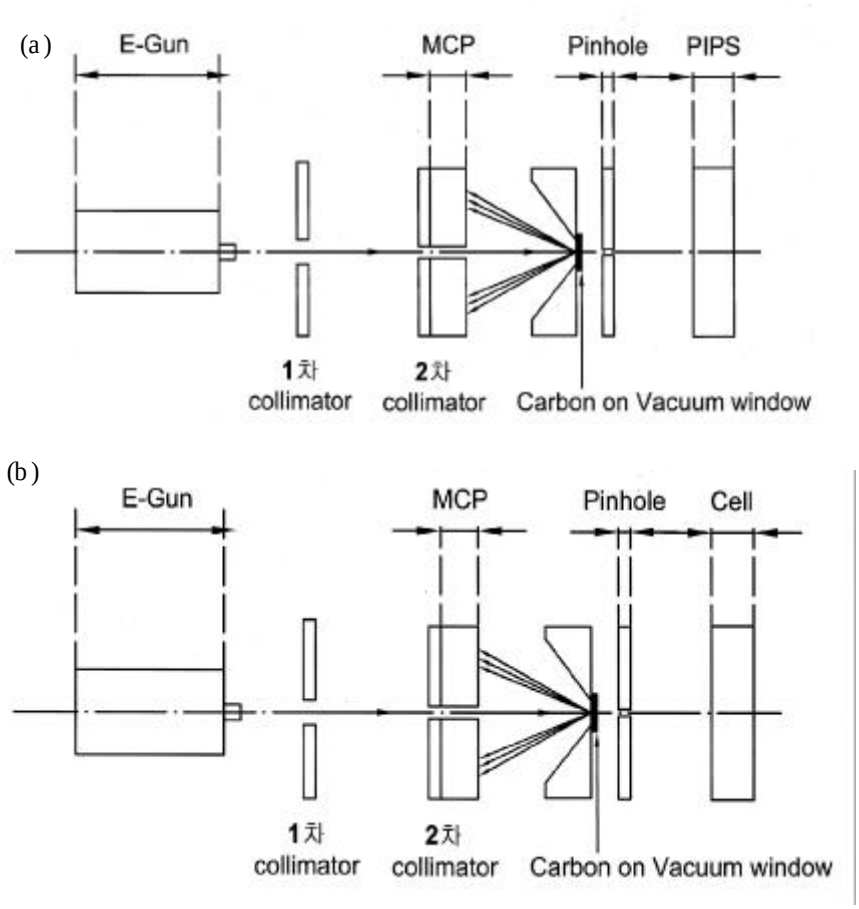

Fig. 1. (a) Calibration before cell irradiation. (b) Secondary electron detection with cell irradiation.

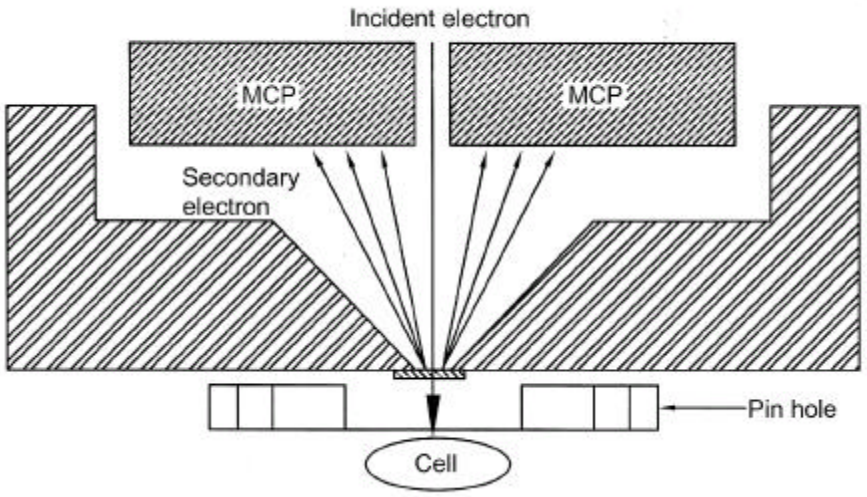

Fig. 2. Sketch of secondary electron detection.

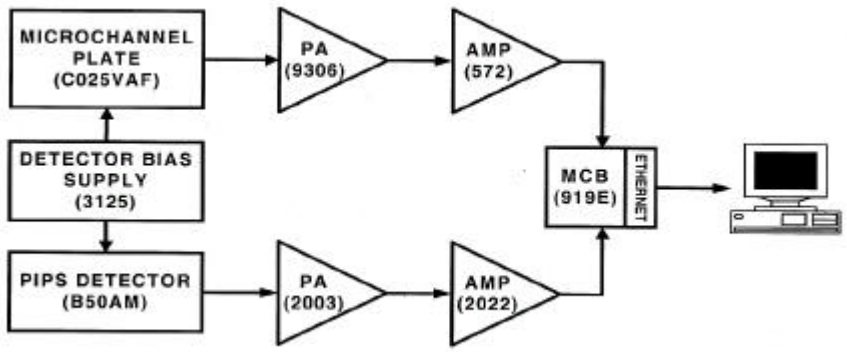

Fig. 3. Block diagram of the secondary electron and emitted electron spectroscopy system.

Table 1. E-gun specification.

EGH-8102B Electron gun	
Beam energy	1 keV ~ 100 keV
Beam current	100 pA ~ 1 mA
Spot size	500 μm ~ 1 cm
Working distance	50 mm ~ 1000 mm
Beam deflection	Magnetostatic ± 0.5° at 80 keV
Gun length	750 mm
Pulse width	33 ns 999 mA

Table 2. MCP specification.

2-stage microchannel plate(center hole type)	
Outside diameter	33 mm ± 0.1 mm
Active diameter	25 mm(min)
Center hole diameter	2 mm
Dead area	4 mm
Thickness	0.6 mm ± 0.03 mm
Center to center	12.5 μm
Pore diameter	10 μm
Bias angle	8° ± 1°
Gain at 1200 V	3×10^4(min)
Applied voltage	1200 V(max)

Table 3. PIPS specification.

βPIPS detector(B50AM)	
Active area(mm^2)	50
βthreshold (keV)	18
βresolution keV(FWHM)	6