

방사선 위치 검출센서의 제작 및 특성

Fabrication and Characteristics of X-ray Position Detection Sensor

박형준*, 김인수**

Hyung-Jun Park*, In-Su Kim**

Abstract

A microstrip gas chamber (MSGC), applied to digital radiography system, was designed and constructed. The microstrip electrodes were fabricated with Chrome(Cr.) by photolithography process on Silicon(Si) wafer and glass substrate. The width of anode and cathode electrodes was 10 μm , and 290 μm , respectively. The distance of the electrodes was 100 μm , and the active area was 50 x 50 mm^2 . And the number of anode was 80. The microstrip electrodes were damaged when discharges occurred over the 600 V of anode voltage. As the result of experiments. It detected the typical output signals of the pulse width, 20 ns, under the condition that the detecting gas was Ar(90%) + CH₄(10%), X-ray tube voltage was 42 kV, and tube current was 1 mA.

요약

디지털 X-선 촬영 장치에 응용되는 MSGC형 검출기를 설계 및 제작하였다. 기판의 재질은 실리콘기판과 유리기판을 사용하였으며, 기판위에 증착된 전극물질은 포토리소그래피 공정을 이용하였으며, 크롬을 전극의 재료를 이용하였다. 양전극의 폭은 10 μm , 음전극의 폭은 290 μm 로 각각 제작하였다. 양전극과 음전극 사이의 거리는 100 μm 이고, 검출기의 유효영역은 50 x 50 mm^2 로 설계하였다. 그리고 양전극의 수는 80개로 하였고, 양전극의 전압이 600 Volt 이상 인가한 경우 양전극과 음전극 부분이 방전되어 끊어진 현상을 확인하였다. 결과적으로 검출기체인 Ar(90%) + CH₄(10%) 기체 하에서 X-선관의 전압은 42 kV, 최대전류 1 mA까지 인가하여 연구를 수행하였다.

Key words : MSGC, Microstrip electrode, X-ray Position Detection, Digital Radiography System, Photolithography process, Sensor technology

1. 서론

여러 종류의 방사선 검출기중 의료용에 사용되는 방사선 검출기는 진단과 치료용으로 구분되며, 특히,

*, ** Dept. of Materials & Energy Engineering College of IT & Energy, KyungWoon University.

★ Corresponding author

e-mail: iskim@ikw.ac.kr, Tel: +82-54-479-1140

Manuscript received Oct 21, 2015; revised Dec 3, 2015 ; accepted Dec 8, 2015

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License

(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

진단용 검출에는 PET(positron emission tomography), 감마카메라 등이 사용되고 있다[1~3]. X-선 위치 검출센서는 방사선 에너지 영역인 X-선의 입사위치를 감지하여 각각의 위치별로 입사한 X-선속(flux)을 측정하고, 이 측정값을 이용하여 X-선 영상을 구현하는 방법이다. 따라서 현재는 고 에너지 입자의 궤적을 검출하는 장치로서 다중선 비례 계수관(HWPC, Multiwire proportional chamber)이 개발되어 이용되어져 왔다. [3],[6]. 이러한 HWPC 장치는 방사선인 X-선에서 발생하는 전자들의 도달 거리를 제한하여 영상 신호를 얻을 수 있다. 그러나 MWPC는 X-선 위치검출기에서 필수적으로 요구되어지는 고계수율(1 MHz 이상) 고위치 분해능(50 μm 이내), 저전압 동작 특성 및 장치의 소형화 등의 조건을 만족시키지 못하는 한계점을 가지고 있다[1],[4~6]. 따라서 이러한

한계점을 개선하기 위한 새로운 방안으로서 반도체 공정 기술과 기체형 X-선 검출기의 특성을 융합한 새로운 MSGC (microstrip gas chamber)형 X-선 위치검출기를 제안하였다. MSGC형 검출기는 X-선 필름을 이용한 검출기와 비교하면 약 1/30~1/100 정도의 저조사선량을 충족시키며, 영상 신호의 처리에 있어서도 신호의 동작범위와 영상의 명암대비 효과 또한 증가시킬 수 있는 장점을 가지고 있다[7~11]. 본 연구에서는 새로운 방식인 MSGC형 장치를 이용하여 X-선 영상을 획득하기 위한 X-선 위치 검출센서를 제작 및 특성을 평가하였다. 고 위치분해능, 고 계수율, 저 전압 동작특성, 검출기의 소형화를 목표로 반도체 공정 기술을 이용하여 MSGC형 X-선 검출기의 핵심이 되는 microstrip전극을 실리콘 기판과 유리기판 위에 제작하여 기판의 기초특성과 진공 챔버 내에서 MSGC의 기체증폭 특성을 조사하였다.

II. 본론

본 연구에서 제안하는 X-선 검출용 시스템의 구성은 다음과 같이 구성된다. 전체적인 시스템의 구성을 살펴보면 X-선 발생 장치 부, X-선 위치 검출 부, 신호처리부, 입·출력 인터페이스부 등으로 구성되어 최종단에서 영상을 얻을 수 있다. X-선 발생장치에서 물체를 통하여 입사되는 X-선은 주사간격에 맞게 입사 창에 위치한 슬릿을 통하여 조절 할 수 있다. 이에

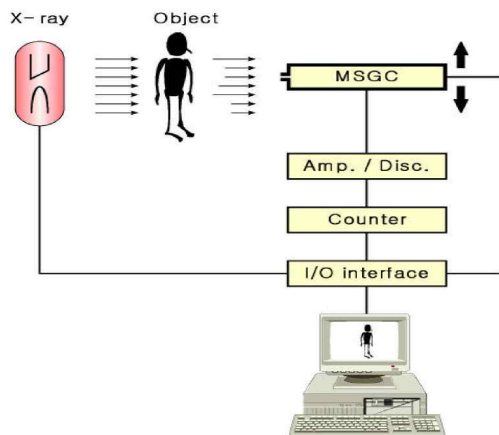


Fig. 1. Structure of X-ray position detection system

그림 1. X-선 위치 검출 시스템의 구조

따라 실제 촬영 시 촬영되는 부분만 X-선에 노출되도록 제작하면 환자에게 입사되는 X-선 피폭선량을 X-

선 필름 방식보다 약 1/30~1/100 까지 줄일 수 있다. 그림 1에서는 MSGC 검출기에서 나오는 각각의 신호를 증폭기, 판별기를 거쳐 계수기로 동시에 신호를 획득하도록 제안하였다. 또한 발생하는 X-선과 신호선인 음극선이 같은 방향으로 나란히 배치되어 검출효율과 시차효과(parallax error) 등을 한계상황을 극복 할 수 있으며, 결과적으로 우수한 X-선 영상을 얻을 수 있다.

III. 실험방법

1. MSGC형 검출기의 구조인자 결정

MSGC형 검출기의 기하학적인 구조인자 결정에서 가장 기본적으로 고려해야 할 요소 중 하나는 양전극 (Anode)과 음전극(Cathode)의 간격, 넓이, 기판의 재질 및 두께, 전극 금속의 재질이 중요한 내용이다. 이러한 인자들은 검출기의 주요 특성인 검출효율과 위치분해능 (50 μm 이내), 저 전압 동작특성(450~500 volt), 고계수율(1MHz 이상), 노화효과 등에 많은 영향을 준다. 기판의 재료로는 유리 재질인 Corning 7059, Corning 7740, Cornig D263, Moscow glass등과 실리콘웨이퍼, 플라스틱 소재 등이 사용되고 있다[7~8],[11]. 본 연구에서 설계된 MSGC의 구조인자들은 표 1에서 보여주고 있다.

Table 1. Structure parameters of MSGC.

표 1. MSGC의 구조인자

Parameters	Value
Anode strip width	10 μm
Anode strip length	50 mm
Cathode strip width	290 μm
distance between anode and cathode strip	100 μm
Number of anode strip	80 lines.

2. MSGC형 검출기의 설계 및 제작

MSGC의 설계 및 제작에 앞서 검출기의 기하학적 구조에서 가장 기본적인 인자는 양전극과 음전극의 간격 및 넓이, 기판의 재질 및 두께, 애노드 및 특히 시차효과에 의한 위치분해능의 저하를 방지하기 위하여 양전극의 방향을 X-선관 초점에 일치하도록 하는 등 여러 가지 사항을 고려하여 설계하였다. 또한, X-선 검출기의 핵심부분

은 기판의 재질과 마이크로스트립형 전극이다. 기판의 재료로는 실리콘산화막이 1 μm 두께로 증착된 실리콘웨이퍼와 유리(Corning 7059)기판을 사용 하였으며, 그 위에 전극 물질인 알루미늄과 크롬을 스퍼터 장비를 이용하여 증착하였고, 전체 제작된 MSGC의 구조는 유효면적이 50 x 50 mm²이며, 양전극의 폭은 10 μm , 양극선과 음극선과 사이의 거리는 100 μm 이다. 그림 2[a],[b]에서는 MSGC의 단면도와 구조도를 보여주고 있다.

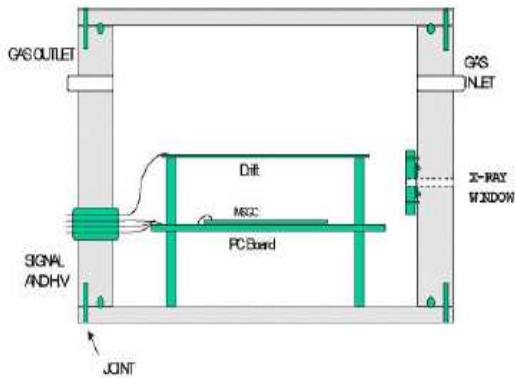


Fig. 2[a]. Cross-sectional view of MSGC
그림 2[a]. MSGC의 단면도

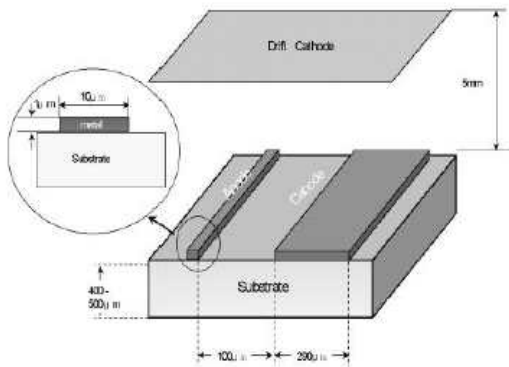


Fig. 2[b]. Structure view of MSGC
그림 2[b]. MSGC의 구조도

그림 3[a],[b]는 실리콘기판과 유리기판 위에 제작된 마이크로스트립형 크롬 전극의 표면을 SEM장비를 통해 확인한 결과를 보여주고 있다.

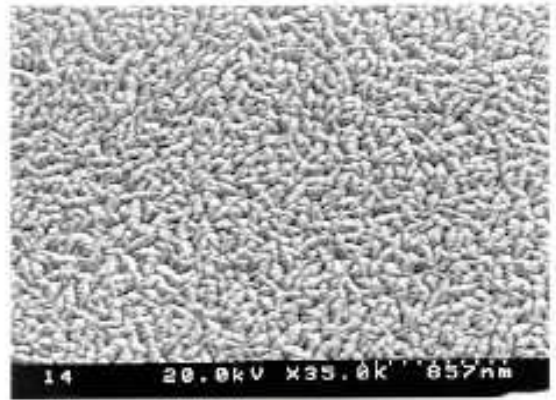


Fig. 3[a]. Surface of deposited Cr
그림 3[a]. 크롬이 증착된 표면

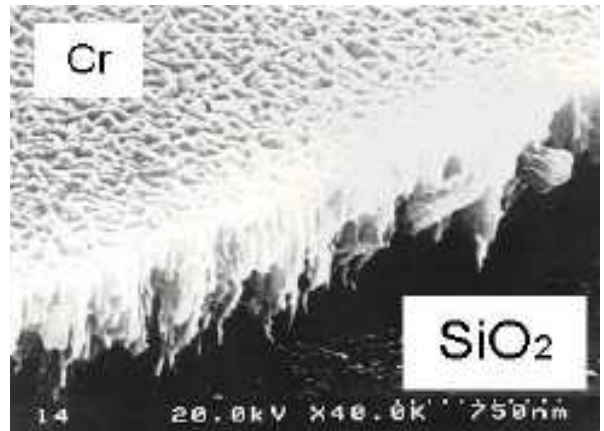


Fig. 3[b]. Lateral view of etched Cr electrode
그림 3[b]. 식각된 크롬 전극의 측면

IV. 실험결과

1. 기판특성

본 논문에서는 반도체공정 기술과 기체형 검출기의 특성을 접목하여 고 분해능 특성을 갖는 X-선 영상을 획득하기 위한 마이크로스트립형 X-선 위치검출센서를 제작하였다. 따라서 사용한 실리콘기판과 기판위에 제작된 크롬과 알루미늄 등의 금속에 대한 기판특성을 조사하였다. 실리콘기판위에 증착된 금속 중 크롬은 증착 시 불규칙한 형태로 증착되어 그림3[b]에서 보는 바와 같이 크롬이 증착된 표면과 크롬 전극의 식각측면의 SEM사진으로서 크롬이 불균일하게 이러한 현상은 두꺼운 금속면이 식각될 때 불균일하게 증착됨을 알 수 있고 식각측면은 톱니바퀴 모양

의 etch pitch를 확인 할 수 있었다. 이러한 불균일성은 고전압 인가 시 방전의 원인이 될 수 있다. 이러한 etch pitch들은 열처리와 인가전압의 변화로 영향을 줄일 수 있다. 또한 마이크로 스트립형 전극제작에 있어 유리기판에서는 실리콘기판에 비해 균일한 식각 율로 인해 식각 단면의 상태가 더 양호 하였다.

양전극의 저항 값은 실리콘기판인 경우는 2.7 kΩ, 유리기판은 0.5 kΩ으로 측정되었다. 기체증폭이 일어나기 위해서는 양전극 주위에 105 V/cm 이상의 전계가 형성되어야 한다. 이와 같은 조건을 만족시키기 위해서 양극에 0.5 kV 이상의 고전압을 인가하였다. 이때 양전극과 음전극사이의 저항이 낮을 경우와 절연과피 시에는 누설전류가 흐르고 검출기가 동작하지 않게 된다. 이 때 누설전류는 electrometer (Keithley, 6517)로 측정하였다. 그림 4는 양극전압의 증가에 따른 누설전류를 측정 한 결과를 보여준다. 이 결과 양전극 전압이 700 V 이상 인가한 경우에 양전극과 음전극이 전극부분이 방전에 의한 손상으로 끊어진 것을 SEM분석을 통해 확인 하였다. 그림5에서는 크롬 전극의 방전에 의한 손상을 보여 주고 있다.

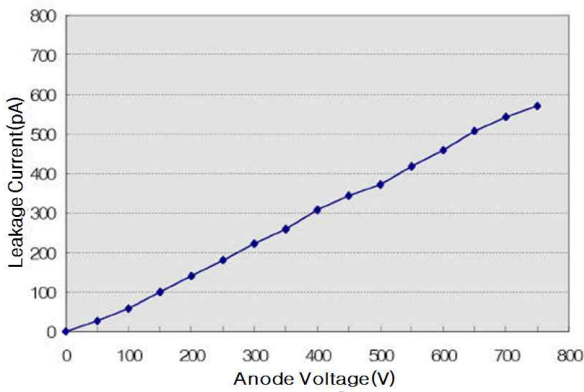


Fig. 4. Anode voltage vs. leakage current curve

그림 4. 애노드 전압의 증가에 따른 누설전류

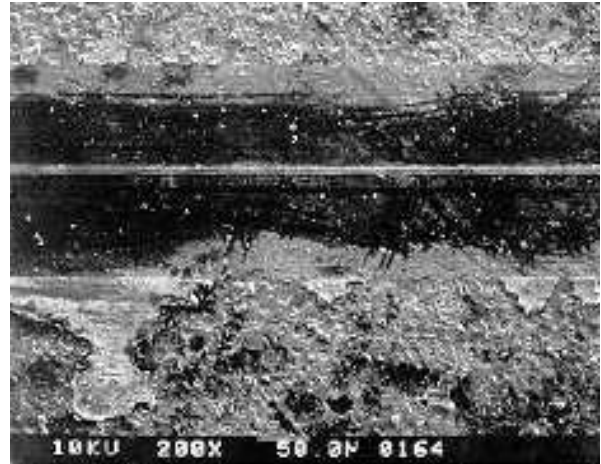


Fig. 5. Damaged by sparking of Cr electrode

그림 5. 크롬 전극의 방전에 의한 손상

2. 기체 증폭특성

제작한 MSGC형 위치 검출 센서가 가스 챔버 내부에서 X-선 위치 검출 센서의 특성을 조사하기 위하여 기체증폭 특성을 조사하였다. 본 실험에서 사용한 X-선 발생원은 X-선관의 최대전압 42 kV, 최대전류 1 mA 까지 인가 가능하고, 몰리브덴 타겟인 X-선 발생 장치 (Leybold, 554 94/90)를 사용하였다. 검출기체는 P10 기체인 Ar(90%) + CH4(10%)를 사용하였다. 기존의 MWPC에서는 양전극과 음전극 사이의 거리가 2~5 mm 이므로 전자사태 후에 생성된 이온들의 수집시간은 수백 μs로 상당히 긴 편이다. 그러나 MSGC형 위치검출 센서는 양전극과 음전극간의 사이의 거리가 50~100 μm로 매우 짧다. 이로 인하여 MSGC형에서는 MWPC형에 비하여 상대적으로 고계수율을 얻을 수 있다.

그림 6은 검출기체 압력이 2기압이고 드리프트 전압이 1.5 kV 일 때의 양전극 인가전압에 따른 출력전압이 지수함수 적으로 증가함을 확인 하였고, 그림에서 보면 양전극 전압의 인가범위가 300~600 Volt인 범위 내에서 동작하므로 MSGC형 검출기가 저 전압 동작 특성을 나타낼 수 있었다.

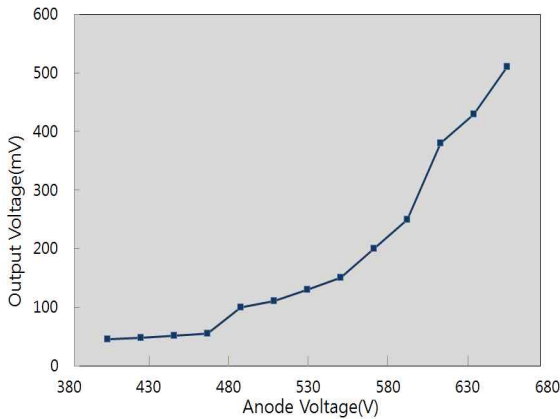


Fig. 6. Gas multiplication characteristic curve
 그림 6. 기체증폭 특성곡선

그림 7은 양전극의 전압을 0.5 kV로 고정하고 표류전압과 기체 증폭도를 조사한 그림이다. 그림에서 보는 바와 같이 표류전압의 증가로 전기장의 세기가 증가하여 출력신호가 증가함을 할 수 있었다. 그리고 기체압력을 각각 1.5, 2.0, 2.5 atm. 으로 변화시켰을 때 기체압력의 증가에 따라 기체증폭도가 감소함을 알 수 있었다.

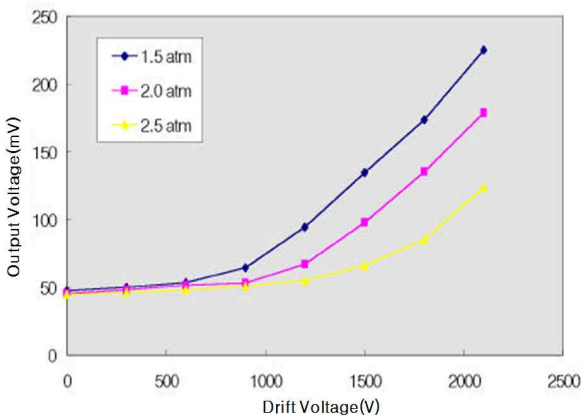


Fig. 7. Drift voltage vs. output characteristics

그림 7. 표류전압 변화에 따른 출력특성

V. 결론

본 연구에서는 의료 진단용 디지털 MSGC형 X-선 촬영장치 개발을 위한 마이크로스트립형 전극을 설계 및 제작하였다. 기관의 기초특성과 기체 증폭특성에 대하여 연구하였다. 기관의 재료로는

실리콘 기관과 유리기관을 사용하였으며, 마이크로스트립형 전극형성은 반도체 공정기술을 이용하여 제작하였다. 전극면의 유효영역은 50 X 50 mm²이었다. 전극의 방향은 시차효과를 줄일 수 있도록 설계하여 입사 X-선의 초점을 향하도록 하였다. 실리콘 기관에 있어 웨이퍼의 표면을 절연화 시키기 위하여 산화막을 1 μm로 형성하였다. 제작된 전극면의 특성은 형태적으로는 SEM 분석으로 전기적으로는 전극의 저항률을 측정하였다. 기체증폭 특성을 조사하기 위하여 양전극의 인가전압에 따른 출력전압의 특성을 확인한 결과 MSGC가 저전압 특성을 나타냄을 확인하였고, 양극전압을 고정하고 표류전압에 따른 출력전압을 조사한 결과 기체압력의 증가에 따라 기체 증폭도가 감소함을 확인하였다. 향후 본 연구의 기초특성을 바탕으로 고 위치분해능, 고계수율, 노화효과 등을 고려한 X-선 영상의 획득이 기대 된다.

References

[1] S. E. BARU, et al, "multiwire proportional chamber for a digital radiographic installation", *Nuclear instruments and Methods in Physics Research*, A 238, pp.165-169, 1985.

[2] T. A. Devol, et al, "Gamma-ray spectral imaging using a single-shutter radiation camera", *Nuclear instruments and Methods in Physics Research*, A 299, pp. 495-500, 1990.

[3] N. Dogan, "Multiple Compton Scattering Gamma Ray Imaging Camera", *Nuclear instruments and Methods in Physics Research*, A 299, pp. 501-506, 1990.

[4] J. B. park, "Construction and Its Characteristics of X-Ray Position Detector Applied by Parallel Readout Method", *Ph.D. Thesis, Kyungpook National University*, 1995.

[5] H. J. Park, "Design and Fabrication X-ray position MSGC type sensor", *The 7th Conference on Sensor Technology '96*, 7(1), pp. 350-355, POSTECH, Korea, 1996.

[6] John A. Kadyk, "Wire chamber sging", *Nuclear instruments and Methods in Physics*

Research, A 300, pp. 436-479, 1991.

[7] T. Beckers, et al, "Optimization of microstrip gas chamber design and operating conditions", *Nuclear instruments and Methods in Physics Research*, A 346, pp. 95-101, 1994.

[8] F. Anderson, et al, "Low pressure microstrip gas chamber operated with secondary-electron emission", *Nuclear instruments and Methods in Physics Research*, A 346, pp.102-106, 1994.

[9] L. Alunni, et al, "performance of MSGC on electronically and ionically conductive substrate in various operational conditions", *Nuclear instruments and Methods in Physics Research*, A 348, pp. 344-350, 1994.

[10] F. Hartjes, et al, "Operation of microstrip gas detector", *Nuclear instruments and Methods in Physics Research*, A 310, pp. 88-94, 1991.

[11] D. N. Kim, Y. S. Chae, M. Y. Km. "X-ray and optical stereo-based 3D sensor fusion system for imaging-guided neurosurgery", *Int J Comput Assist Radiol Surg*, 2015.

In-soo Kim (Member)



1985 : BS degree in Physics
Youngnam University.

1987 : MS degree in Physics
Youngnam University.

1994 : PhD degree in Physics
Youngnam University.

1998~2015 : Professor, Dept. of Material & Energy Engineering in KyungWoon University.

BIOGRAPHY

Hyung-Jun Park (Member)



2005 : MS degree in Sensor
Engineering, Kyungpook
National University.

2003 : PhD degree in Sensor
Engineering, Kyungpook
National University.

2003~2008 : Principal Researcher, Samsung
Techwin.

2009~2013 : Project Manager, IT Health.

2013~Present : Assistant Professor,
KyungWoon University.