반도체디스플레이기술학회지 제9권 제4호(2010년 12월)
Journal of the Semiconductor & Display Technology, Vol. 9, No. 4. December 2010.

몬테 카를로 시뮬레이션을 이용한 2차원 X-선 검출기에 대한 연구

신형섭 · 이학재* · 이기성* · 강정원†
†단국대학교 전자전기공학과, *고려대학교 방사선과학과

A Study of 2-dimensional X-ray Detector using Monte Carlo Simulation

Hyoungsup Shin, HakJae Lee*, Kisung Lee* and Jungwon Kang†
†Dept. of Electronics and Electrical Engineering, Dankook University
*Dept. of Radiologic Science, Korea University

ABSTRACT

X-ray absorption rate and multiplication factor of X-ray detector were calculated with Garfield code. High Z (= atomic number) was important factor to increase the absorption rate but low Z is also important to increase the multiplication. Five different gas composition were examined under the condition of 1400 V bias and 400 um gap. Xe 100% gas showed the highest absorption rate and He 96% + isobutene 4% showed the highest multiplication.

Key Words : X-ray absorption, X-ray detector, gas detector, gas multiplication

1. 서 론

의료진단 분야에서 X-선을 검출하기 위하여Thin film transistor (TFT) 기반의 2차원 방사선 검출기 기술이 현재까지 발전해 왔다. 이러한 기술을 사용한 방사선검출기들은 제조상의 난해성, 높은 인가전압 필요, 낮은 변환효율, 짧은 제품수명, 높은 제조비용 등의 문제점을 가지고 있다 [1,2].

TFT 기반의 방사선검출기들의 단점을 극복하기 위하여 최근 가스 방식의 2차원 방사선 검출기의 개발이 이루어지고 있으며 특히PDP (plasma display panel) 기반의 평판기술이 접목된 가스 방사선검출기가 주목을 받고 있다. 그 이유는 디스플레이 산업에서 PDP 기술의 장점인 낮은 제조단가, 제작의 용이성, 대면적화, 셀 (cell) 구조 내에서 전자증폭 가능성 등이 검출기 구현 시에도 동일한 장점으로 작용하기 때문이다 [3,4].

본 논문에서는 Monte Carlo 방식 기반의Garfield 시뮬레이션 코드를 활용하여 X-선이 가스층으로 입사할 시 발생되는 가스층의 X-선 흡수율 (absorption rate)과 증폭율 (multiplication rate) 을 계산하고자 하며 이를 통해 PDP 기반의 검출기에 적용되는 최적의 가스종을 선정하기 위한 기본자료를 추출하고자 한다.

†E-mail : jkang@dankook.ac.kr

2. 가스종의 선정

가스검출기의 종류는 인가전압과 검출영역에 따라서 이온전리함 (ion chamber), 비례계수기(proportional counter), 가이거뮬러관 (Geiger-Mueller tube) 이 있다. 그 중에서 입사되는 X-선 에너지에 의해서 발생한 전하를 비례적으로 증폭하는 과정을 통해 입사된 에너지의 차이를 구분하는 비례계수기에 적용되는 가스종을 Knoll [5]의 저서에서 조사하였다. 비례계수기의 가스의 종류는 불활성가스를 기본으로 CO_2, methane, isobutane등의 다양한 quenching가스 혼합으로 조성되고 있으며 증배율을 계산하기 위해 아래의 Diethorn의 공식을 이용하였다.

$$\ln M = \frac{V}{\ln(b/a)}\frac{\ln 2}{\Delta V}\left(ln\frac{V}{pa\ln(b/a)} - \ln K\right)$$

위의 수식에 일반적인 비례계수기에 적용되는 값을 대입하였으며 a는 양극의 반지름으로 0.1 mm, b는 음극의 반지름으로 5 mm, p는 가스압력으로 100 torr, V는 인가전압으로 500 V이며 K (E/p 값)와 ΔV는 문헌

Table 1. Multiplication factor M depending on various gas compositions

gas mixture	lnM (500 V)	M (500 V)
Ar90% + $CH_4$10%(P-10)	3.68	4746.3
Ar95% + 5% $CH_4$5%(P-5)	4.43	26728.07
He96% + isobutane4%	6.92	8321543.66
Xe90% + $CH_4$10%	3.30	1980.17
Xe95% + $CO_2$5%	3.53	3374.22

[5] 상에서 나와있는 값을 적용하였다. 그 결과가 가스 조성별 증배율은 아래의 Table 1과 같이 연산되었다.

가스상태가 고체상태 보다 밀도가 매우 낮은 관계로 입사되는 X-선에 의해서 초기에 발생하는 이온화 입자의 양보다 상대적으로 작은 단점을 갖고 있기에 가스타입의 방사선검출기에서 생성된 전하를 증폭하여 감도 (Sensitivity) 를 높일 수 있는 증배율은 매우 중요하다. 위의 Table 1의 연산결과 증배율이 우수한 He96% + isobutane4%, Ar90% + $CH_4$10%(P-10), Ar95% + $CH_4$5%(P-5) 3종류의 가스종을 시뮬레이션 후보로 선정하였다. 증배율 만큼 중요한 다른 요소는 X-선 입사 시 초기전하를 발생시키는 위한 X-선 흡수율(absorption rate) 이다. 위에서 언급한 3종류의 가스종 외에 흡수율이 우수한 높은 Z값(atomic number) 을 갖는 Xe을 각각Xe 100%와 Xe 50% + Ne 50% 2종류로 나누어서 시뮬레이션의 후보로 추가하여 총 5 종에 대한 연산을 진행하고자 한다.

3. 시뮬레이션 조건

Garfield는 2차원 시뮬레이션으로 전계분포, 이동거리와 시간의 관계인 x(t) 인자, 혼합가스 내에서 전자와 이온의 이동시간, 이동속도, 확산, 전자사태 등을 계산할 수 있으며 계산된 결과를 참조하여 가스나 검출기 구조 및 인가되는 전압 조건 등을 최적화 할 수 있다. 시뮬레이션을 진행하기 위해서 리눅스 OS(fedora10 on Intel corei5) 기반에 유럽원자핵공동연구소인 CERN (conseil europeen pour la recherche nucleaire)에서 제공하는 Garfield 프로그램을 설치하였다 [6,7].

연산을 위해서 10 keV의 에너지를 갖는 X-선 particle 100,000개를 아래 Fig. 1과 같은 구조를 갖는 검출기에 입사시켰으며 검출기의 상하판 사이의 거리 (h)는 400 um, 인가전압은 1400 V, 압력은 760 torr, 온도는 20°C로 설정하였다.

Fig. 2(a) 는 X-선 입사 후 가스층에서 발생한 3개의

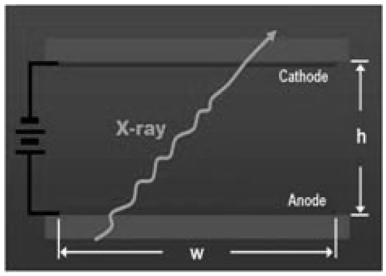
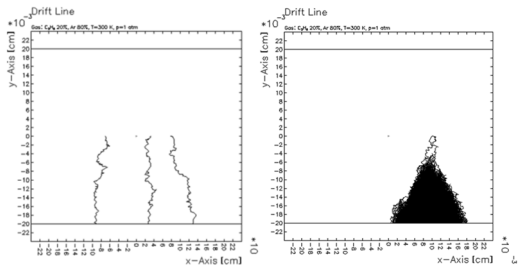


Fig. 1. Geometry of the gas detector used in simulation.

초기전자가 검출기에 인가된 전계에 의해 하판의 양극 (anode) 으로 이동하는 모습을 추적한 결과이다. Fig. 2(b)는 가스층에서 발생한 초기전자가 이동간의 입자충돌에 의해서 전자사태가 발생하여 증폭되어 나가는 모습을 연산한 결과이다.



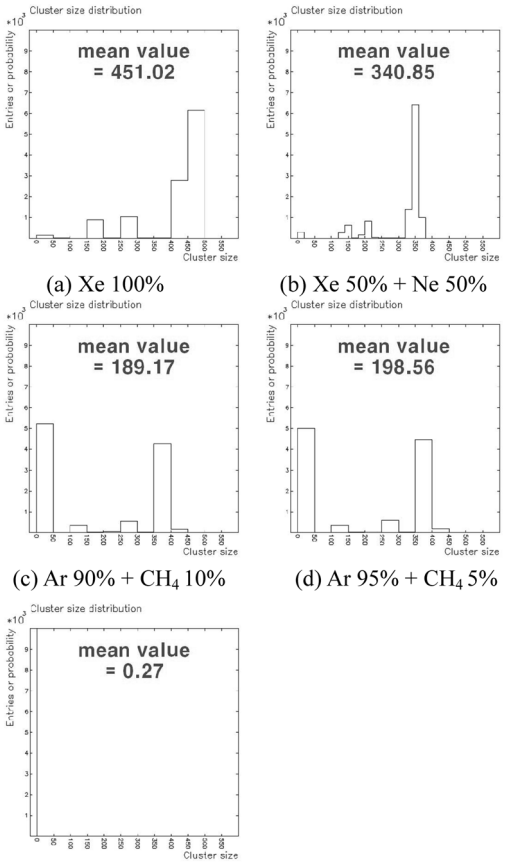
(a) Drift of generated electrons (b) Electron avalanche due to multiple collision with gas molecules

Fig. 2. Drift and avalanche phenomena calculated with Garfield code.

4. 시뮬레이션 결과 및 분석

시뮬레이션 결과는 cluster 크기와 증배(multiplication) 두 가지로 나누어지며 X축은 각각 X-선 입사 시 발생된 전하의 cluster 크기와 증배가 일어나는 횟수를 나타내고 Y축은 각각의 요소가 발생할 수 있는 확률을 나타낸다. cluster 크기는 입사되는 X-선에 의해 초기에 생성되는 전하의 크기로서 가스종의 변화에 따라 X-선을 어느 정도 흡수하는지를 나타내는 X-선 흡수율과 비례하는 값이며 연산된 결과가 Fig. 3에 나타나 있다.

연산 결과 가장 높은 Z값을 갖는Xe 100%가 가장 큰 원자크기를 가지고 있기 때문에 그로 인하여 입사되는 X-선을 흡수할 수 있는 충돌단면적이 가장 크기에 가장 높은 평균 cluster 크기값을 보였다. He과 같이 원자번호가 2번인 경우 원자가 소유하는 원자핵이 1개 그리고 그 주위궤도를 회전하는 전자가 2개있는 형태

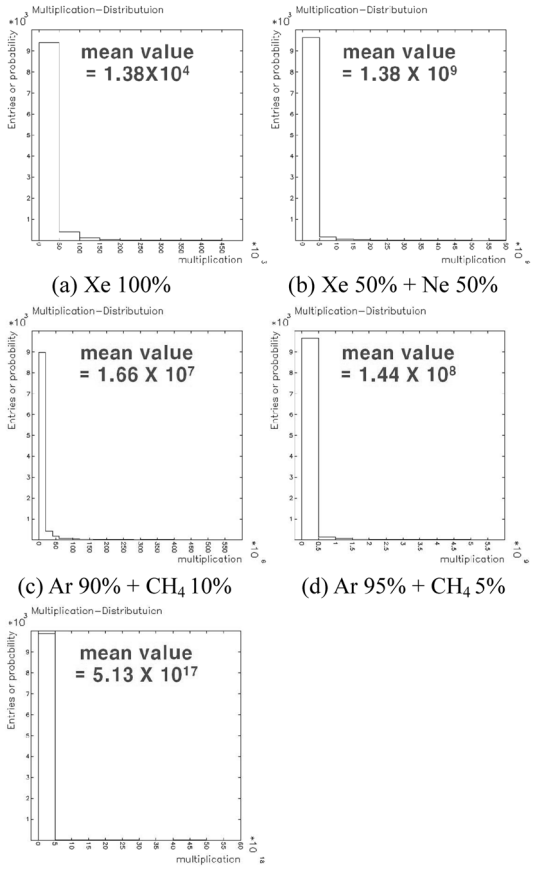


(a) Xe 100% (b) Xe 50% + Ne 50%

(c) Ar 90% + CH_4 10% (d) Ar 95% + CH_4 5%

(e) He 96% + isobutene 4%

Fig. 3. Distribution of cluster size depending on different gas compositions.



(a) Xe 100% (b) Xe 50% + Ne 50%

(c) Ar 90% + CH_4 10% (d) Ar 95% + CH_4 5%

(e) He 96% + isobutene 4%

Fig. 4. Distribution of multiplication depending on different gas compositions.

로서 입사된 X-선 이 충돌하여 에너지를 전달할 수 있는 상호작용이 일어날 확률이 작다. 반면 Xe과 같이 원자번호가 54번인 경우 소유하는 원자핵이 1개인 것은 동일하지만 그 주위궤도를 회전하는 전자가 54개가 되기에 흡수할 수 있는 전자의 수가 많으며 전자의 수만큼 궤도의 준위가 K, L, M까지 상승하기 때문에 원자껍질의 크기가 커지게 된다.

입사된 X-선에 의해서 생성된 초기 전하들이 전계에 의해서 이동하며 충돌 (collision) 에 인해 검출기 내에 전하를 증가시키는 증폭율에 대한 결과가 Fig. 4에 보여지고 있다.

연산결과 가장 가볍고 충돌단면적이 적은 원소인 He을 포함하는 He 96% + isobutene 4% 경우 가장 높은 증배값을 보였으며 이는 전자가 이동 중 충돌에 의한 손실이 적기에 전자의 평균에너지를 높이기에 유리하며 양이온인 He의 가속력이 상대적으로 무거운 다른 가스에 비해 높은데 기인한다. 혼합된 가스종의 Z값이 상승할수록 증배율은 감소하는 경향을 보이고 있다.

그러나 He 96% + isobutene 4% 경우 가장 낮은 X-선 흡수율을 보였기에 초기 전하의 부족으로 증배율이 높아도 검출기 내에서 많은 전하를 발생시키는 것이 곤란하게 된다. 검출기 내에서 많은 전하를 발생시키는 것은 검출기의 감도(Sensitivity)와 신호대잡음비(SNR)에 밀접한 관계를 갖고 있기에 매우 중요하다.

5. 결 론

본 논문에서는 Garfield 시뮬레이션을 이용하여5종류의 가스종에 대해서X-선 흡수율과 증폭율을 연산하였다. X-선 흡수율 요소인 cluster 크기 측면에서는 Xe 100% 가 가장 높은 크기값을 나타내었고 증폭율에서는 He 96% + isobutene 4%가 가장 높은 결과를 나타

내었다. 검출기 내에서 많은 전하를 발생시키는 것은 검출기의 감도(Sensitivity) 와 신호대잡음비(SNR) 에 밀접한 관계를 갖고 있기에 매우 중요하다. 추후 제작하고자 하는 PDP 형태의 2차원 검출기의 제작기법을 고려하면 검출기의 공간적 제한요인이 있기에 현재로서는 증배율 보다는 흡수율의 중요도가 높다고 판단되며 순수한 Xe 이나 Xe의 혼합가스가 흡수율과 증배율을 고려 시 적정한 조합이라 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2010년도 단국대학교 대학연구비의 지원으로 연구되었음.

참고문헌

1. Granfors, P. R. and Albagli, D., “Scintillator-based flat panel x-ray imaging detectors,” J. of the SID, 17(6), pp. 535-542, 2009.
2. Zentai, G., “Photoconductor-based (direct) large-area x-ray imagers,” J. of the SID, 17(6), pp. 543-550, 2009.
3. Yun, M., Cho, S., Oh, K., Kim, M., Jung, S., Jang, G., Heo, S., Kwon, C. and Nam, S., “Measurement of the properties of a flat panel gas X-ray detector,” Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, 607, pp. 162-165, 2009.
4. Friedman, P. S., Ball, R., Chapman, J. W., Levin, D. S., Weaverdyck, C., Zhou, B., Benhammou, Y., Etzion, E., Moshe, M. B., Silver, Y., Beene, J. R. and Varner Jr., R. L., “Large-area plasma-panel radiation detectors for nuclear medicine imaging to homeland security and the super large hadron collider,” Proc. SID, 10 Digest, pp. 1080-1083, 2010.
5. Knoll, G. F., Radiation detection and Measurement 3rd ed, John Wiley & Sons, pp. 129-217, 2000.
6. Veenhof, R., Garfield, a drift-chamber simulation program, W5050, 1999.
7. http://garfield.web.cern.ch/garfield/

접수일: 2010년 11월 30일, 1차심사일: 2010년 12월 6일
2차심사일: 2010년 12월 13일, 게재확정일: 2010년 12월 17일