

비파괴 검사용 X선 영상시스템 설계

이의용*, 남형진**, 조남인**, 설용태***
*(주)에이티에스, **선문대학교, ***호서대학교
e-mail:eylee@at-s.co.kr

X-ray image system design for non-destructive inspector

Eui-Yong Lee*, Hyung-Jin Nam**, Nam-In Jo**, Yong-Tae Sul***
*ATS CO., Ltd, **SunMoon University, ***Hoseo University

요 약

본 연구는 산업용과 의료용에 사용되는 비파괴 검사용 X 선 영상시스템에 이용되는 X 선을 직접 감지하는 방식의 센서를 실리콘 반도체 재료를 사용하여 개발하는데 목적이 있다. 현재 사용되고 있는 비파괴 시험 용 검사 방법은 X-선을 사용하고 감지 필름 또는 고가의 감지재료를 사용하고 있으나 본 과제에서는 경제성이 있으며 기술기반이 확고한 실리콘 재료를 사용하고 디지털 촬영 방식을 도입하여 컴퓨터로 시험결과를 영상 처리한다는 장점이 있으며 영상 자료의 컴퓨터 베이스 처리와 영상 저장에 편리하게 이루어졌다.

1. 서론

본 과제에서는 실리콘 반도체를 기본 물질로 하는 X-선 센서를 개발하고 광범위한 영역에서 응용이 가능한 비파괴 시험용으로 제품화하기 위해 센서 어레이와 주변회로, 그리고 구동회로 시스템과의 연관 기술도 알아보려고 한다. 과제에서 추구하는 X-선 센서 관련 기술은 복합적인 첨단기술의 총아로 전자공학의 전 분야 기술 (신호처리 기술, 반도체 공정 기술, ASIC 설계기술, 전자회로 설계기술)이 모두 요구되고 있으므로 이들 기술이 공동으로 첨단성을 이룰 때 제품의 기능도 첨단성을 이룰 수 있을 것이다. X-선 센서를 제품화하기 위해서는, X-선 발생장치 제작기술, 영상처리 기술, 화소 감지기 어레이 기술, 센서 제작기술 등이 요구되나, 이 과제에서는 센서 제작기술에 중점을 두고 기술을 개발함으로써 장래 제품화를 위한 기반을 다지고자 한다.

2. 시스템 설계

2.1 Pin 다이오드 방사선 센서 소자 설계

소자 설계는 일반적으로 소자특성 모사 툴 상에

서 임의의 구조를 가정하여 특성을 분석한 다음 사양 만족 여부에 따라 구조 수정 과정을 거치게 되는데 이 과정은 사양이 만족될 때까지 반복 수행된다. 이후 작업은 공정 모사 툴 상에서 이루어지게 되는데 우선 위 구조를 제작할 수 있는 가장 근접한 process flow를 모사를 통하여 찾아낸 다음 공정변수를 변화시켜 가면서 특성모사 및 공정 모사를 연계한 시뮬레이션 과정이 반복 수행되게 된다. 이러한 일련의 과정을 거쳐서 공정변수가 추출하고 runsheet를 확립하였다.

2.2 능동 픽셀 스위치 회로

최근 들어 방사선을 이용한 영상장치 개발에 관한 연구 활동은 국내외에서 매우 활발하게 진행되고 있으며 그 응용분야도 의료분야, 비파괴검사 분야 등 점차 넓어지고 있는 추세이다. 일례로 그림 1에서는 direct radiology에서 사용되는 여러 가지 기술들을 보여주고 있다. 이 중 최근 경향을 보면 bulky한 구조보다는 평면 패널을 사용하는 기술이 주종을 이루고 있으며 X-ray 변환 방식에 대해서는 각 방식이

갖고 있는 장단점에 관해 아직 논란이 있는 실정이다. 따라서 본 절에서는 평면 패널 방식의 DR에서 사용되는 센서 어레이 구조를 기준으로 서술하고자 한다.

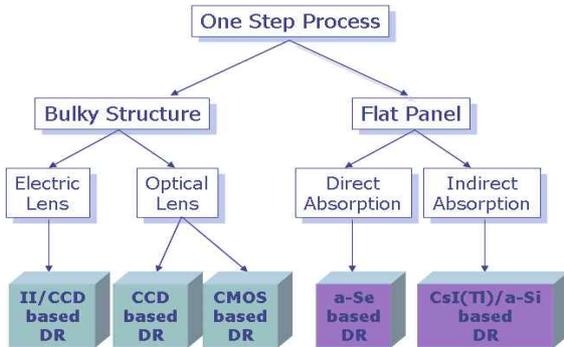


그림 1. direct radiology에서 사용되는 여러 가지 기술

그림 2는 X-ray 감지 방식에 따른 디텍터 구조를 각각 나타내고 있다. 여기서 볼 수 있듯이 디텍터의 동작은 센서에서 감지된 신호가 필요에 따라 변환되고 이러한 신호는 픽셀회로에 의하여 각 행에 연결되어 있는 전하증폭기에서 증폭되어진다. 이 때 열스캔회로에 의하여 한 열이 선택되면 이 열에 연결된 모든 픽셀회로가 동작하게 되며 따라서 모든 행에서 신호가 발생하게 되는 것이다.

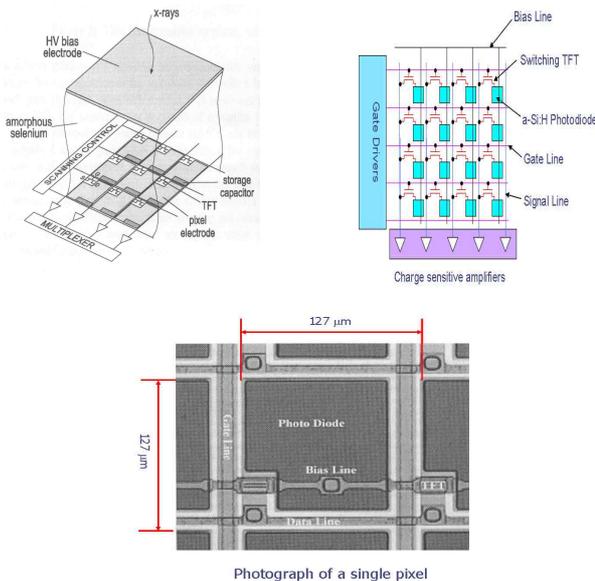


그림 2. X-ray 감지 방식에 따른 디텍터 구조
(a) 간접 감지 방식 (b) 직접 감지 방식
(c) 직접 감지 방식 픽셀의 layout

트랜지스터의 설계 및 특성 모사 방법은 반도체 소자라는 점에서 앞에서 서술한 PIN 다이오드의 설계

및 특성 모사 과정과 크게 다르지 않다. 따라서 여기에서는 중요한 몇 가지 점만을 서술하도록 한다. 우선 4가지의 트랜지스터 (TR) 가 각각 그 쓰임새가 다르기에 threshold 전압이 달라야 할 필요가 있다. 즉, reset TR의 경우 누설전류가 PIN 다이오드 센서의 그 것보다 작아야 하며 큰 전류를 공급하여야 할 필요는 없다. 따라서 threshold 전압은 비교적 높게 설정되어야 한다. 한편, amp TR의 경우에는 PIN 다이오드에 의하여 방전되는 효과가 gate 전압 변화로 이어지고 이에 따른 전류 변화량이 커야 하기에 threshold 전압은 낮게 설정되어야 하며 subthreshold swing도 일반 반도체 산업에서 요구되는 사양과는 달리 비교적 크게 설정되어야 한다. 반면에 reset 상태에서 amp TR의 gate capacitor에 축전된 전하량은 PIN 다이오드에 흐르는 전류에 의해서만 방전되어야 방사선 감지 sensitivity가 증가하기 때문에 gate를 통해 흐르는 누설전류는 최소화되어야 하며 이는 곧 게이트 산화막이 비교적 두꺼워야 함을 의미한다. 따라서 본 연구에서는 게이트 산화막 두께를 100nm로 설정한 다음 channel implantation에 의한 threshold 전압 변화를 SILVACO의 ATHENA 및 ATLAS 프로그램을 사용하여 모사하였다. 모사과정에서 기판 농도는 $1e15\text{cm}^{-3}$, oxide charge는 $1e11\text{cm}^{-2}$ 을 사용하였으며 게이트 전극은 알루미늄을 가정하였다.

한편, subthreshold swing (S) 설정에 있어서의 변수는 junction capacitance와 gate capacitance를 조절하는 방법이 유일한데 gate capacitance의 경우 channel 길이와 게이트 산화막 두께 및 산화막을 이루는 물질 등은 현실적인 의미에서 변수라 보기 어렵기 때문에 junction capacitance를 조절하여야 하는데 여기서도 공핍층 두께는 기판의 농도에 의해 거의 결정되며 기판의 농도는 다른 이유로 이미 설정되었기에 소스/드레인 길이를 조절하는 방법이 실질적으로는 유일한 방법이라 하겠다. 따라서 소스/드레인 길이에 따른 subthreshold swing 값 변화를 시뮬레이션 하였다.

2.3 방사선 디텍터 시스템의 특성 시뮬레이션

본 연구에서 제작한 디텍터 특성을 모사하기 위해 우선 다음 그림 3에 제시한 PIN 다이오드의 등가회로를 구성하였다. 즉, 방사선 감지 여부를 펄스 형태로 생성하는 전류원, 접합 capacitance 및 series 저항으로 이루어져 있다.

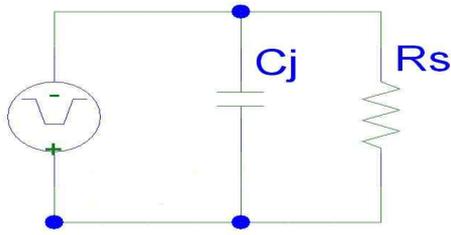


그림 3. PIN 다이오드의 등가회로

한편, 트랜지스터의 경우 제작된 소자의 SPICE 변수를 추출하여 SPICE 모델을 생성하여야 하나 이러한 작업에 필요한 틀이 현재 확보되지 못한 상태에서 SILVACO의 ATHENA 및 ATLAS 모사 결과를 토대로 하여 SPICE에서 제공하는 PMOS 모델의 변수를 수정하여 사용하였다. 아래 그림 4는 시뮬레이션에 사용된 4X4 어레이, column 당 하나씩 존재하는 bias 트랜지스터 및 op amp를 사용한 비교기 등으로 구성된 회로를 나타내었다. 그림에서 볼 수 있듯이 한 행에 가해지는 read 신호는 다음 행의 reset 신호로도 동작하여 디텍터의 입력핀 수를 반으로 감소시켰으며 reset 신호와 read 신호는 동시에 activate되는 경우없이 일정한 시간동안 disactivated 상태로 머물고 있어 column line으로 이루어진 capacitance에 축전된 전하들이 bias 트랜지스터를 통해 방전될 수 있도록 하였다.

시뮬레이션 수행 시에 reset은 0V와 -5V 사이를 toggle하도록 펄스형 전압원을 설정하였고 reset TR의 threshold 전압은 -2.5V, 기타 TR의 그 것은 -0.7V로 설정하였다. 방사선 디텍터는 앞에서 제작된 트랜지스터 어레이와 PIN 다이오드 어레이를 bonding함으로써 제작하였다. bonding은 flip chip 형태의 bump bonding 방식으로 이루어졌다. 즉, 각각의 어레이 기판 상에 under-bond metal (UBM)을 증착하고 lift-off 방식으로 패터닝한 후 여기에 bump용 금속을 증착하고 다시 lift-off 방식으로 식각을 수행하였다. 이후 열처리 과정을 통하여 bump를 형성하고 두 기판을 정합한 다음 압력을 가하여 디텍터 제작을 완료하였다.

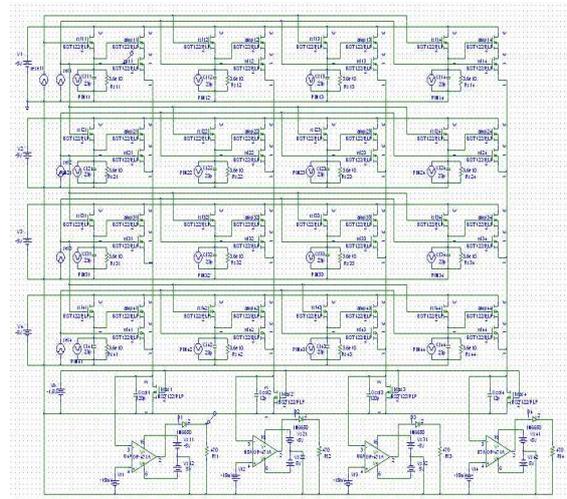


그림 4. 시뮬레이션에 사용된 4X4 어레이 및 주변회로

4. 결론

X-선 센서 제품화에 요구되는 제반기술은 모두 국내 산업체가 취약한 기반 기술로서 이들을 모두 확보하게 되면 파급효과는 여러 분야에 지대할 것인바 전자공학 분야는 물론이고 재료공학, 원자력공학 분야에도 파급될 것이다. 또한 이 제품은 고부가가치의 첨단기술 산업이므로 국내기업의 활성화를 이룰 수 있으며 나아가 수입 대체와 수출 증대도 도모할 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] Hisako Fujimura, "Analogous Gamow-Teller and M1 transitions in MG-26, Al-26, and Si-26," PHYS REV C, 67, 2003.
- [2] G. McIntosh, "Some problems in understanding the electronic transport properties of carbon nanotube ropes," Current Applied Physics, 2001.
- [3] Teresa Oh, Chi Kyu Choi and Kwang-Man Lee, "Thin Solid Films 475, 2004.
- [4] 남상희, "방사성 의료 영상" 전자공학회지, 제21권, 12호, pp 1230-1239, 1994.