

반도체 센서를 이용한 방사선 검출기의 ASIC 구현

이운근*, 백광렬**, 손창호**

*부산경상대학 디지털애니메이션과, **부산대학교 전자공학과, ***삼창기업(주) 제어기술연구소

ASIC Implementation of Nuclear Radiation Detector Using Semiconductor Sensor

Un-Kun Yi*, Kwang-Ryul Baek**, Chang-Ho Sohn**

*Busan Kyungsang College, **Pusan National University, ***Samchang Enterprise Co., Ltd.

Abstract - 본 논문에서는 고정도의 방사선 측정이 가능한 능동형 전자선량계를 제작하기 위해 필수적으로 요구되는 반도체 방사선 검출기를 ASIC으로 구현하였다. 이는 전자선량계의 소형화와 저소비전력을 실현할 수 있도록 전치증폭기와 성형증폭기를 일체화한 것으로 방사선과 방사선 검출 소자인 상용 핀 포토다이오드의 상호작용으로 생성된 수 [nA]의 전류펄스를 측정할 수 있다. MOSIS 공정을 통하여 ASIC으로 구현된 방사선 검출기는 10 μ Ci의 γ -선 Ba-133, Cs-137 및 Co-60의 세 핵종에 대하여 방사선 조사시험을 수행하여 구현된 방사선 검출기의 유용성을 입증하였다.

그림에서와 같이 ASIC의 제작범위는 반도체 센서에서 발생한 신호를 차지(charge) 증폭 및 신호정형을 담당하는 전치증폭기와 성형증폭기 그리고, 가우시안 펄스의 피크를 검출하는 회로를 구현하는 것이다.

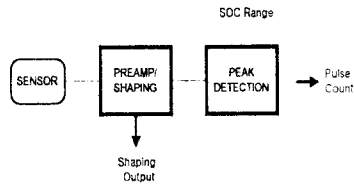


그림 2.1 방사선 검출기 ASIC의 구성

1. 서 론

원자력 에너지를 얻기 위한 수단인 핵분열이나 핵융합 반응에서는 막대한 양의 에너지와 함께 인공 방사성물질을 생산하게 된다. 이러한 핵반응에서 생성된 에너지는 많은 양의 전기를 생산하고 있으며, 또한 적절히 가공되어 방사선 치료와 같은 의료용, 그리고 비파괴 검사 등의 산업용으로 유익하게 사용되고 있다. 그러나, 원자력 에너지는 이처럼 인간에게 유용한 반면에 그에 따른 부작용은 이미 많은 사람이 잘 알고 있듯이 방사선오염에 의한 피해이다. 따라서 방사선의 이용가치를 최대화하기 위하여 원자력시설의 운영으로 인해 발생할 수 있는 방사선 재해로부터 관련 작업종사자 개인의 피폭량을 능동적으로 측정 및 관리하여 피해를 미연에 방지 또는 최소화하는 등 보다 강력하고 근본적인 방사선 안전 대책은 필수적이다.[1-3]

본 논문에서는 개개인의 방사선 피폭 선량, 선량률 및 과피폭 경보기능이 포함된 소형의 능동형 개인피폭 선량계를 제작하기 위해 필수적으로 요구되는 반도체 방사선 검출기를 ASIC으로 구현하였다. 반도체형 방사선 검출기에 조사된 방사선 신호는 수 [nA] 정도로 매우 미약하며, 자기장 및 빛의 차단이 필수적이다. 또한, 노이즈(noise) 마진이 작아야 원하는 신호 검출이 가능한데, 최근 능동형 전자선량계가 소형화되고, 저소비전력화 되고 있으며, 이를 실현시키기 위해서는 상용의 연산증폭기 및 수동소자를 이용하여 구성하기에는 한계가 있다.

본 논문에서는 부품의 소형화와 저소비전력의 실현을 위하여 전용의 ASIC 제작을 수행하였다. 이는 방사선과 방사선 검출 소자인 실리콘 핀 포토다이오드의 상호작용으로 생성된 수 [nA]의 전류펄스를 측정하기 위한 전치증폭기와 정형화된 펄스파형을 출력하는 성형증폭기를 하나의 칩셋(chipset)으로 제작한 것이다.

ASIC으로 구현된 방사선 검출기는 10 μ Ci의 γ -선 Ba-133, Cs-137 및 Co-60의 세 핵종에 대하여 방사선 조사시험을 수행하여 구현된 방사선 검출기의 유용성을 입증하였다.

2. 방사선 검출기 ASIC의 구성

그림 2.1은 방사선 검출기 ASIC의 구성을 나타낸다.

3. 블록별 집적회로의 구현

3.1 연산증폭기

연산증폭기 회로는 전치 및 성형증폭기 등을 구현하기 위해 거의 전반에 두루 사용되는 중요한 회로이다. 특히, 전치증폭기의 경우 매우 정밀하고도 잡음이 적은 연산증폭기가 요구되며, 3K Ω 정도의 저항성 부하를 드라이브 할 수 있어야 한다. 특히, 신호레벨의 오차를 줄이기 위하여 70dB이상의 게인이 요구된다. 연산증폭기 회로의 기본구조는 그림 3.1에서와 같이 rail-to-rail folded cascade를 토대로 하였으며, 출력 버퍼는 push-pull형을 사용하였다. Push-pull 버퍼는 50pF의 용량성 부하와 1K Ω 의 저항성 부하를 동시에 드라이브 할 수 있도록 설계하였다. 그림 3.2와 3.3은 연산증폭기의 AC 및 DC 특성 모의실험 결과와 연산증폭기의 transient 모의실험 결과를 나타낸다. 모의실험 결과 양호한 출력을 나타내고 있음을 알 수 있다.

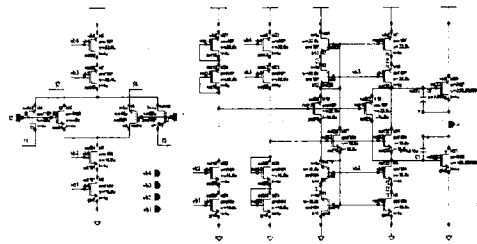


그림 3.1 연산증폭기 회로

3.2 전치 및 성형증폭기

그림 3.4는 전치 및 성형증폭기의 입력과 출력을 나타낸 것으로, 전치증폭기는 방사선 검출 소자인 상용 핀 포토다이오드로부터 유입된 차지를 증폭하며, 성형증폭기는 증폭된 꼬리펄스(tailed pulse)를 가우시안(Gaussian) 형태의 파형으로 변환한다. 이때, 방사선 검출 소자인 포토다이오드는 일반적으로 출력 임피던스

가 매우 높아 전치증폭기의 입력 임피던스도 매우 높아야만 신호전달이 이루어진다.[4]

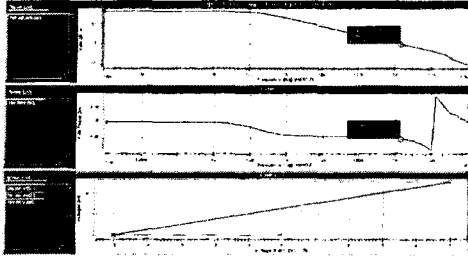


그림 3.2 연산증폭기의 AC 및 DC 특성 모의실험 결과

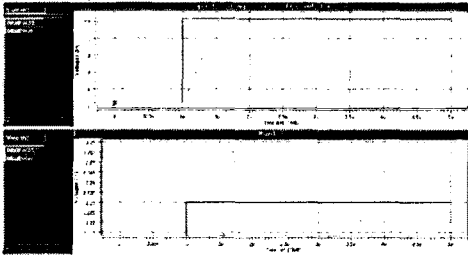


그림 3.3 연산증폭기의 transient 모의실험 결과

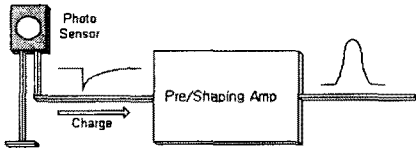


그림 3.4 전치 및 성형증폭기의 입력과 출력

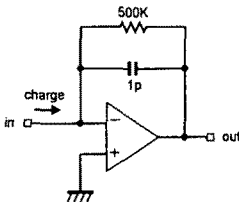


그림 3.5 구현된 차지증폭기

본 논문에서 구현된 전치증폭기는 그림 3.5에서 나타난 것과 같은 일반적인 차지증폭기이다. 그림 3.5에서 R과 C는 dominant pole을 형성하기 때문에 값이 너무 커지면 피리펠스의 피리가 길어지고, 값이 너무 작아지면 피리펠스의 피리가 짧아지는 반면 phase margin이 다소 줄어들어 목표에 못 미칠 우려가 있다.[1, 4]

본 논문에서는 포토다이오드를 포함한 실제 회로를 구성하고, 실험적으로 최적화된 pole의 값을 정하였는데, 그 값은 그림 3.5의 R, C 값과 같다. 1pF라는 값은 차지의 증폭 정도를 조절하게 되고, 이 커패시터(capacitor)의 값이 고정된 상태에서는 저항의 값만을 조절하여 꼬리(tail)와 언더슛(undershoot)을 조절하게 된다.

성형증폭기를 구현하기 위하여 미분기 회로는 손쉬운 1차 high pass filter를 응용하였고, 적분기는 연산증폭기를 응용한 적분기(low pass filter) 4개를 중첩 나열하였다. 전체 스케메틱은 그림 3.6과 같다. 그림 3.6에서 미분기의 저항이 하나 더 추가된 이유는 pole-zero cancellation을 고려한 것으로 성형(shaping)의 4차 pole과 일치하는 값의 zero를 발생시켜 pole을 하

나 줄여주는 효과를 보이는데, 이는 언더슛을 막아주기 위한 것이며, 좀 더 빠른 시간 내에 가우시안 파형의 tail이 원점으로 되돌아오게 하기 위한 것이다.

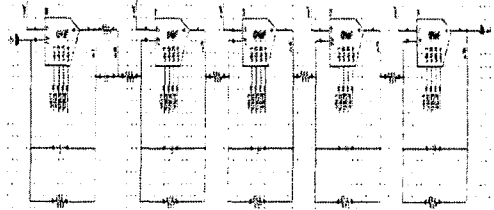


그림 3.6 전치 및 성형증폭기의 스케메틱

전치 및 성형증폭기 회로의 모의실험 결과는 그림 3.7에 나타내었으며, 이는 1 MeV의 에너지가 포토다이오드에 가해진 경우를 모의 실험한 것으로 언더슛이 없이 말끔한 가우시안 파형을 볼 수 있다.

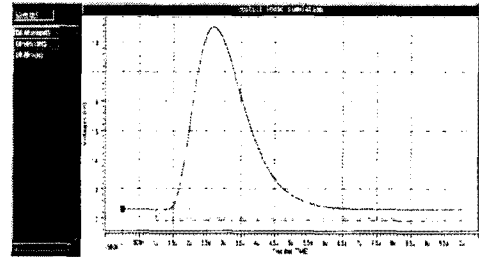


그림 3.7 전치 및 성형증폭기 회로의 모의실험 결과

3.3 피크 검출기

피크 검출 회로는 단순히 입력신호의 최고 값을 감지하는 기능을 수행한다. 이때, 피크 값을 커패시터에 저장되며 커패시터 양단의 스위치를 ON함으로써 저장 값을 초기화할 수 있다. 설계된 피크 검출 회로는 그림 3.8과 같다.

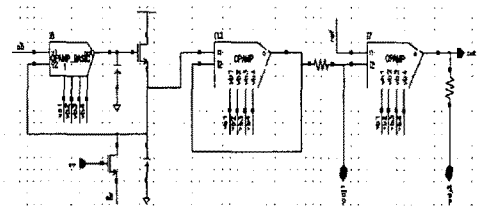


그림 3.8 피크 검출 회로

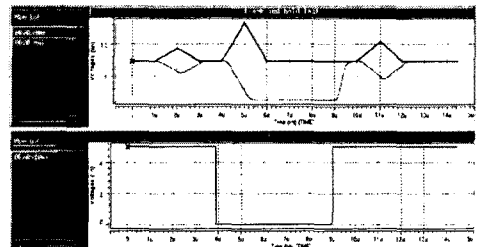


그림 3.9 피크 검출 회로의 모의실험 결과

본 논문에서 사용된 피크 검출 회로의 특징은 그림 3.9의 모의실험 결과에서 알 수 있는 바와 같이 switch

reset 신호가 ON인 동안은 입력신호를 그대로 tracking 하는 동작을 보이다가 switch reset 신호가 OFF인 동안은 피크 검출을 수행하여 OFF인 동안 최고 입력 값을 hold하게 된다. 피크 검출 회로의 부가적인 출력으로는 매 입력 펄스마다 카운트용 신호를 출력하는 펄스 카운트 출력이 있다.

4. ASIC 제작 및 실험

설계된 방사선 검출기의 ASIC은 MOSIS 공정을 통하여 제작되었다. 이의 내부와 외관은 그림 4.1과 4.2에 나타낸다.

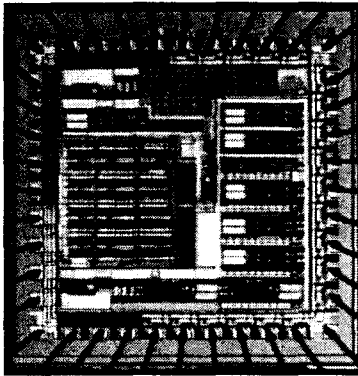


그림 4.1 제작된 ASIC의 내부

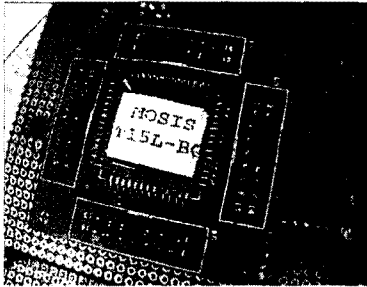


그림 4.2 제작된 ASIC의 외관

본 논문에서는 제작된 ASIC의 유용성을 입증하기 위하여 10 μ Ci의 γ -선 Co-60, Cs-137 및 Ba-133에 대하여 방사선 조사시험을 수행하였으며, 이의 결과는 그림 4.3에서 4.5에 나타낸다. 그림에서 보듯이 검출결과가 양호함을 알 수 있다. 이는 펄스 계수형 방식의 전자선량계에 직접적으로 응용이 가능하리라 판단된다.

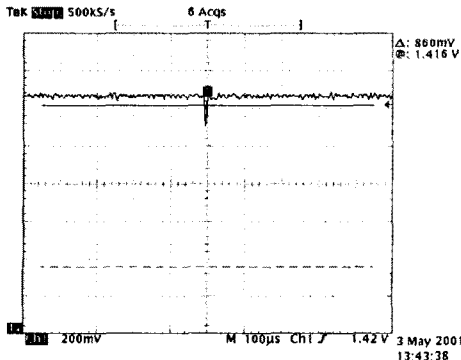


그림 4.3 방사선원 Co-60에 대한 출력

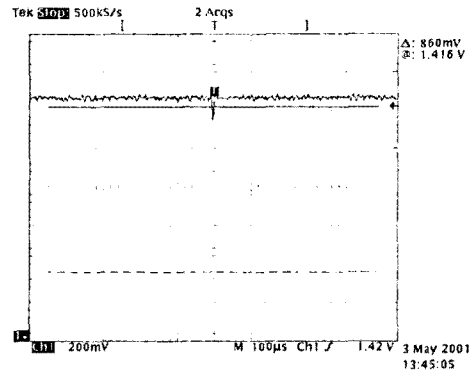


그림 4.4 방사선원 Cs-137에 대한 출력

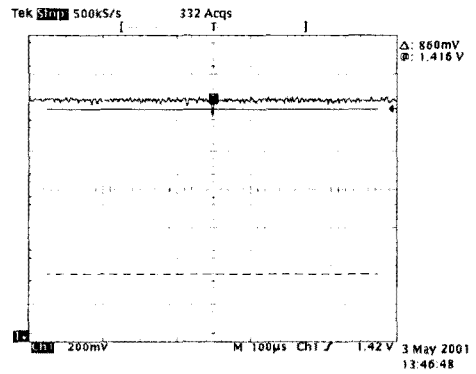


그림 4.5 방사선원 Ba-133에 대한 출력

5. 결 론

본 논문에서는 고정도의 방사선 측정을 위해 PCB상에 discrete 소자 및 집적부품들로 개발된 방사선 검출기를 하나의 칩셋으로 ASIC화하여 소형화 및 저전력화 등을 실험하였다. 이는 대량생산 및 수출의 향상으로 단가를 절감할 수 있도록 하였다. 특히, 이러한 SOC (System On Chip) 기술은 현 전자산업의 첨단화 추세의 하나로 시장 우위를 선점하는데 필연적으로 따라야 할 원천기술의 하나라 할 수 있다.

향후 본 논문에서 구현된 방사선 검출기의 ASIC은 선량환산 알고리즘의 적용과 선량지시의 정확성, 방사선 량률 의존성, 에너지 의존성 및 방향의존성에 대한 성능 시험이 이루어지면 직접적으로 소형의 펄스 계수형 전자선량계의 구현이 가능하리라 판단된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 이윤근, 백광렬, 권석근, "실리콘 핀 포토다이오드를 이용한 능동형 방사선 피폭 전자선량계의 구현." 제어자동화시스템 공학 논문지, 제9권, 제4호, pp.296-303, 2003.
- [2] S. Izumi, H. Kitaguchi, S. Mitani, and H. Kikuchi, "A computerized personal dosimeter with an IC card," *IEEE Trans. on Nucl. Sci.*, vol. 36, pp. 1150-1153, 1989.
- [3] N. Horiuchi, T. Sato, and E. Kobayashi, "A high sensitivity neutron dosimeter using the coherent demodulation technique," *IEEE Trans. on Nucl. Sci.*, vol. 42, no. 6, pp. 2203-2208, 1995.
- [4] 이윤근, 김중선, 손창호, 백광렬, "실리콘 포토 다이오드를 이용한 방사선 검출기 개발에 관한 연구." 1999년도 대한전기학회 추계학술대회 논문집, vol. B, pp. 754-756, 1999.