

## 준미크론기술로 제조된 CMOS 소자에 대한 양성자포임의 영향

김광혁, 김련희, 강순길

오늘날 반도체제작기술의 발전으로 대부분의 집적회로들은 매 층들이 준미크론(submicron)기술로 제작되어 요소의 전체 두께가 수  $\mu\text{m}$  정도밖에 되지 않는다.[1, 2] 이것은 두께가 수십~수백  $\mu\text{m}$  까지 달하던 지난 시기 반도체요소들과는 다른 방사선손상특성을 나타낸다.[2] 그러므로 두께가 얇은 다층계에서 방사선립자의 수송과정을 연구하고 총이온화 및 비이온화선량을 평가하는것은 방사선포임실험을 준비하는데서 나서는 중요한 문제의 하나이다.

논문에서는 다층차폐해석모의프로그램 MULASSIS[3, 4]와 인공위성의 RHA지원체계 《별》1.0을 리용하여 대표적인 CMOS소자들에 양성자포임을 진행할 때 감도구역에 침적되는 총이온화 및 비이온화선량특성을 평가하고 분석하였다.

### 1. 모의된 다층구조 및 반응물림새

논문에서는 W층이 있는 경우와 없는 경우의 CMOS구조를 모의하였다.

그림 1은 W층이 없는 경우의 대표적인 CMOS구조인데 여기서 SV로 표시한것이 감도구역이다.[4] W층이 있는 경우에는 그림 1에서 10번째 층이  $\text{SiO}_2$ 대신에 W로 바뀐다. 매 층의 길이, 너비는 각각  $10\mu\text{m}$ 로 주었다.

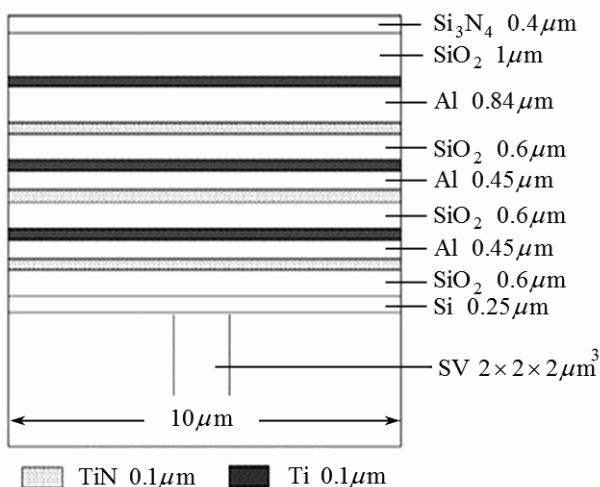


그림 1. W층이 없는 경우의 대표적인 CMOS구조[4]

시행수는  $10^5$ 으로 하였다.

모의에 리용된 양성자에너지는  $0.1\sim 10\text{MeV}$ , 원천의 형태는 점원천, 묶음의 형태는 선묶음, 적분묶음은  $10^{12}\text{개}/\text{cm}^2$ 이며 양성자묶음을 표면에 수직입사시켜 감도구역을 통과하는 립자수를 크게 함으로써 오차를 줄이도록 하였다. 그리고 다층차폐해석모의프로그램 MULASSIS에서 물리적과정은 hadron+em+ln과정(standard EM+decay+binary+elastic+stopping+EM extra)으로 설정함으로써 가능한 모든 과정을 모의할수 있게 하였다.

## 2. 모의결과 및 분석

표 1에 입사양성자의 에너지와 CMOS소자의 감도구역에 침적된 총이온화 및 비이온화선량사이의 관계를 주었다.

표 1. 입사양성자의 에너지와 CMOS소자의 감도구역에 침적된 총이온화 및 비이온화선량사이의 관계

$E_p/\text{MeV}$	총이온화선량 $/(\cdot 10^4 \text{Gy})$		비이온화선량 $/(\cdot 10^9 \text{MeV} \cdot \text{g}^{-1})$	
	W층이 있는 경우	W층이 없는 경우	W층이 있는 경우	W층이 없는 경우
0.1	0	0	0	0
0.2	0	0	0	0
0.3	0	0	0	0
0.4	0	0	0	0
0.5	0	0	0	0
0.6	0.000 66	0.06	14.07	1 047.46
0.7	1.56	5.31	1 539.35	350.38
0.8	6.82	5.68	229.26	167.24
0.9	4.97	4.48	140.17	122.04
1.0	4.15	3.86	109.96	98.46
2.0	2.00	1.96	37.92	36.94
3.0	1.44	1.42	23.83	23.63
4.0	1.14	1.14	17.79	17.53
5.0	0.96	0.96	14.14	14.02
6.0	0.83	0.83	11.93	11.94
7.0	0.74	0.74	10.65	10.65
8.0	0.66	0.66	9.53	9.52
9.0	0.61	0.61	8.67	8.65
10.0	0.56	0.56	7.94	7.93

표 1로부터 다음과 같은 결론을 얻을수 있다.

첫째로, 에너지가 0.6MeV이하인 양성자들은 감도구역에 영향을 주지 못한다. 이것은 양성자의 에너지가 0.6MeV이상일 때에만 감도구역까지 도달한다는것 즉 턱값이 0.6MeV라는것을 의미한다.

둘째로, 0.6~1MeV의 에너지대역에 놓이는 양성자들이 감도구역에 침적시키는 총이온화 및 비이온화선량은 W층이 있는 경우와 없는 경우에 차이난다. 이것은 에너지가 0.6~1MeV의 양성자들은 주행거리가 짧아서 CMOS층상구조안에서 대부분 제동되어 자기의 에너지를 침적시킨다는것을 의미한다.

셋째로, 에너지가 1MeV이상인 양성자들은 두가지 CMOS구조의 경우에 감도구역에 침적시킨 총이온화 및 비이온화선량이 같다. 즉 W층은 이 경우에 아무런 영향도 미치지 못한다. 이것은 에너지가 1MeV이상인 양성자들은 감도구역을 통과하여 지나가기때문이다.

이제 에너기가 1MeV인 양성자뭉음이 규소층에 입사할 때 깊이에 따르는 투과적분뭉음 곡선을 모의해보자.(여기서 적분뭉음은 뭉음(단위는 개/(cm<sup>2</sup>·s))을 시간에 따라 적분한 량으로서 개/cm<sup>2</sup>의 단위를 가진다.) 이것은 인공위성의 RHA지원체계 《별》1.0의 최량화모의 프로그램을 리용하면 쉽게 얻을수 있다.

MULASSIS에서는 26개의 층까지밖에 모의할수 없지만 《별》1.0의 최량화모의프로그램에서는 층들을 자동적으로 반복입력해주는 방법으로 총이온화선량, 비이온화선량, 투과적분뭉음 대 깊이곡선, 목적하는 조건까지의 두께 등 추가적인 정보를 더 얻을수 있으며 그 라프작도기능을 리용하여 결과분석을 보다 편리하게 할수 있다.

그림 2에 에너기가 1MeV인 양성자뭉음이 규소층에 입사할 때 깊이에 따르는 투과적분뭉음곡선을 보여주었다.

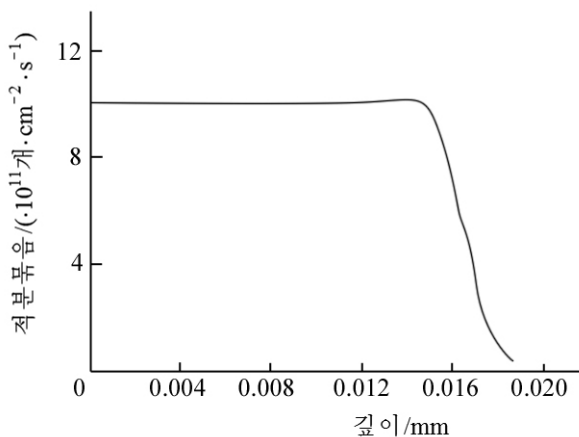


그림 2. 에너기가 1MeV인 양성자뭉음이 규소층에 입사할 때 깊이에 따르는 투과적분뭉음곡선

에는 무관계하게 거의 같으며 CMOS소자안에서 제동되는 경우 손상이 차이난다는것을 알수 있다. 따라서 CMOS소자에 대한 실험에서 많이 리용되는 10MeV이상의 단색양성자뭉음은 주행거리가 600μm 이상이므로 차폐가 없는 두가지 형태의 CMOS구조에서 W층의 영향을 연구하는데 리용할수 없다는것을 알수 있다. 이것은 얇은 두께의 CMOS소자에 대해서는 양성자쫄임손상특성들이 구조에 무관계하게 거의나 같으며 그것은 오직 감도구역의 체적에만 관계된다는것을 의미한다. 이것은 단색양성자쫄임에 의한 실험을 준비하고 결과를 분석할 때 중요하게 리용된다.

## 맺 는 말

다층차폐해석모의프로그램 MULASSIS와 인공위성의 RHA지원체계 《별》1.0을 리용하여 집적회로의 중요한 구성요소의 하나인 준미크론기술로 제조된 CMOS소자에서 양성자에 의한 총이온화 및 비이온화침적선량을 평가하였다. 이로부터 두께가 수 μm 정도로 얇은 CMOS소자에 대해서는 1MeV이상의 단색양성자들이 주는 손상이 구조에는 무관계하다는것을 밝혔다.

그림 2에서 보는것처럼 에너기가 1MeV인 양성자에 대하여 규소에서의 주행거리는 약 15μm 정도이다. 그런데 모의에서 리용된 CMOS구조들에서 감도구역에 있는 물질층들(약 6μm)에 대한 규소등가 깊이는 W층이 없는 경우 8.1μm, W층이 있는 경우 12.5μm 이므로 에너기가 1MeV이상인 양성자들이 충분히 지나갈수 있으며 침적시키는 선량에서도 큰 차이가 없게 된다.

결국 위의 세가지 결론으로부터 만일 양성자들이 CMOS소자를 충분히 지나갈수 있다면 감도구역에 주는 손상이 구조

## 참 고 문 헌

- [1] R. D. Schirimi; Radiation Effects and Soft Errors in IC and Electric Devices, World Science, 135~161, 2004.
- [2] C. Virmondois; IEEE Trans. Nucl. Sci., 57, 6, 3101, 2010.
- [3] F. Lei et al.; IEEE Trans. Nucl. Sci., 49, 6, 2560, 2002.
- [4] A. S. Kobayashi et al.; IEEE Trans. Nucl. Sci., 52, 6, 1785, 2005.

주제 106(2017)년 6월 5일 원고접수

## **Effects of Proton Irradiation on the CMOS Device Manufactured in the Submicron Technology**

*Kim Kwang Hyok, Kim Ryon Hui and Kang Sun Gil*

In this paper we studied on the total ionization dose and nonionization dose deposited in sensitive volume of CMOS device manufactured in submicron technology when irradiating by proton, using the Multi Layer Shielding Analysis Simulation Code.

The damage property of CMOS device with thin thickness by proton irradiation did not depend on its structure but on its sensitive volume.

Key words: submicron technology, total ionization dose, CMOS