

층구조를 가진 CMOS 소자에 대한 중이온포임의 영향

김련희, 김광혁

경애하는 최고령도자 김정은동지께서는 다음과 같이 말씀하시였다.

《우리는 위대한 장군님의 우주강국건설업적을 만년토대로 하여 우주과학기술을 더욱 발전시켜 첨단기술의 집합체이며 정수인 실용위성들을 더 많이 제작, 발사하여야 합니다.》

(《조선로동당 제7차대회에서 한 중앙위원회사업총화보고》 단행본 39~40페이지)

인공지구위성이 우주방사선환경에서 동작할 때 위성에 설치된 CMOS소자가 받게 되는 중이온포임의 영향을 정확히 분석평가하는것은 인공지구위성의 성과적인 발사와 조종에서 매우 중요한 문제로 나선다.

은하계우주선속에는 극히 조금 있기는 하지만 에너르기가 매우 높은 중이온들이 포함되어있으며 이것은 양성자들보다 물질들에서 단위깊이당 더 많은 에너르기를 침적시킨다. 그러므로 두께가 얇은 여러개의 층들로 이루어진 다층계에서 중이온들에 의한 이온화 및 비이온화선량을 모의평가하는것은 지상에서의 방사선포임실험을 위한 기초연구자료로 된다.[3, 4]

본문에서는 다층차폐해석모의프로그램 MULASSIS[1]를 리용하여 중이온포임에 의하여 대표적인 CMOS소자의 감도구역에 침적되는 이온화(TID) 및 비이온화선량(NID)의 특성을 평가하고 분석하였다.

1. 모의된 다층구조 및 반응물림새

본문에서는 구조에 W층이 있는 경우와 없는 경우의 CMOS소자를 모의하였다.

그림 1에 W층이 없는 경우의 대표적인 CMOS소자구조[2]를 보여주었는데 여기서 SV로 표시한것이 감도구역이다. 또한 W층이 있는 경우에는 그림 1에서 10번째 층이 SiO₂대신에 W로 바뀐것을 내놓고는 다 같다.

모의에 리용된 중이온의 핵자당 에너르기는 은하계우주선환경에서 대표적인 50MeV~1GeV까지로 설정하였다. 그리고 다층차폐해석모의프로그램 MULASSIS에서 물리적과정물림새는 핵적과정을 포함한 모든 물리적과정을 다 포함하도록 hadron+em+ln과정으로 설정하였다. 또한 입사립자의 적분류음은 10¹²개/cm²로서 표면에 수직으로 입사하는 경우로, 시행수는 10⁵으로 하였다.

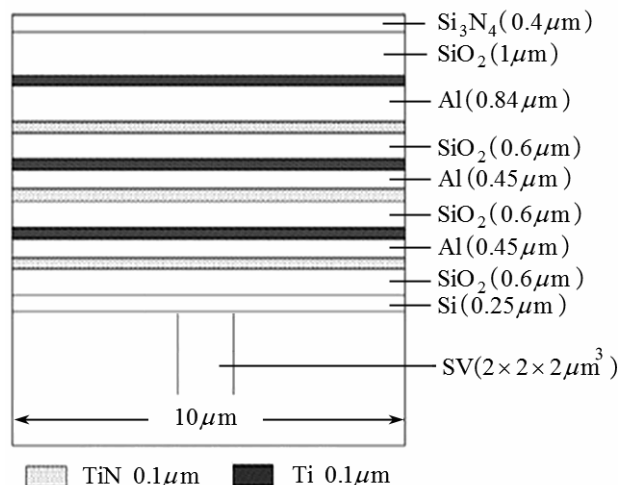


그림 1. 대표적인 CMOS소자구조

2. 모의결과 및 분석

여러가지 중이온($^{16}\text{O}^{2+}$, $^{20}\text{Ne}^{6+}$, $^{82}\text{Kr}^{22+}$, $^{40}\text{Ar}^{12+}$)들에 대하여 CMOS소자감도구역에 침적된 총이온화선량(TID) 및 비이온화선량(NID)모의결과는 그림 2와 같다.

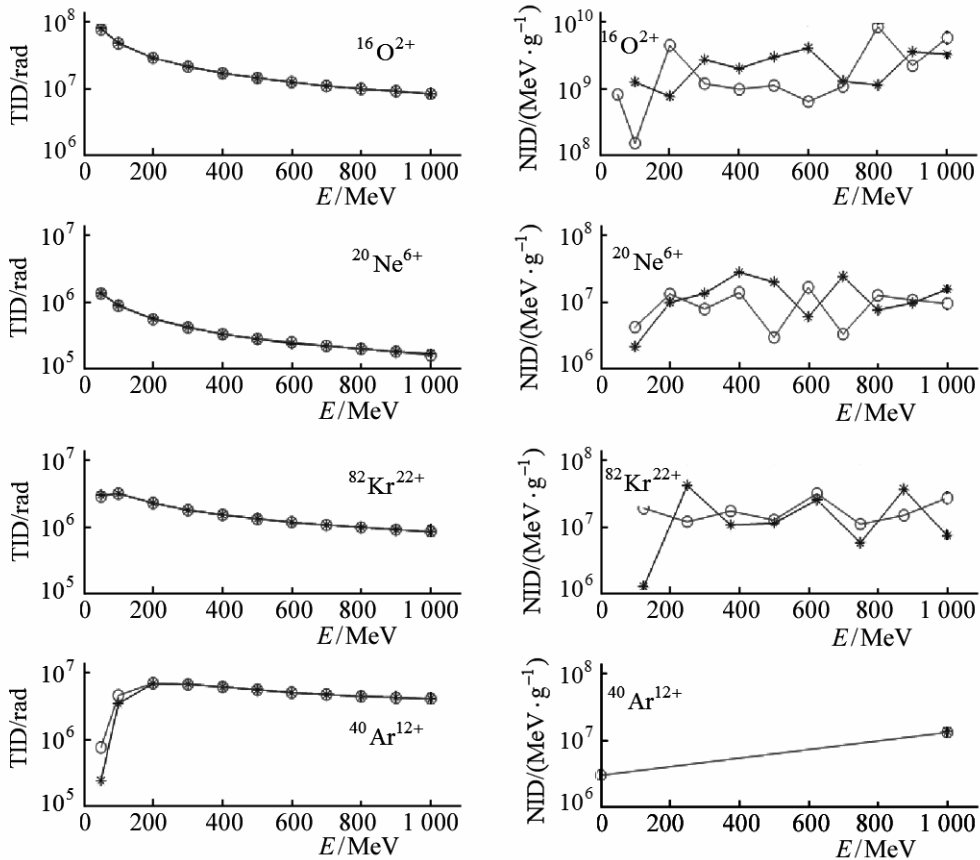


그림 2. CMOS소자감도구역에 침적된 총이온화선량(TID) 및 비이온화선량(NID)모의결과
○ - W층이 없는 경우, * - W층이 있는 경우

그림 2에서 보는것처럼 모의된 CMOS소자구조에 대하여 감도구역에 침적된 이온화선량은 W층이 있는 경우와 없는 경우에 입사에너지가 변해도 차이가 없다. 그러나 비이온화선량의 경우에는 두 경우가 일치한다고 볼수 없다. 그것은 비이온화선량의 경우에 핵적 과정이 중요한 과정으로 되므로 W층이 있는 경우와 없는 경우에 중이온과의 호상작용과정이 차이나기때문이라고 볼수 있다. 이러한 관계를 핵자당 에너지가 1GeV인 Ne이온이 두가지 구조에 입사하는 경우에 대하여 모의하였다.(그림 3)

모의결과로부터 다음과 같은 결론을 얻을수 있다.

첫째로, 총이온화선량(TID)은 CMOS소자의 층구조에 관계없이 동일하게 나타난다. 이것은 에너기가 큰 우주선속의 중이온들은 반도체소자의 구조에 관계없이 동일한 총이온화선량을 준다는것을 의미한다.

둘째로, 비이온화선량은 층구조에 관계된다.

W층을 통과한 입사립자적분흐름의 에네르기 분포는 그림 3과 같이 가우스분포에 따른다. 이때 흐름과 평균에네르기는 W층이 있는 경우에 더 작아진다. 이것은 W층에서 입사립자와의 호상작용이 SiO₂에서보다 더 강하게 일어난다는것을 보여준다. 따라서 비이온화선량이 CMOS 소자의 충구조에 관계된다고 볼수 있다.

셋째로, 우주선속의 중이온이 감도구역에 침적시키는 에네르기의 기본은 2차립자에 의한것이다. 사실 중이온들은 에네르기가 크기때문에 물질과 핵반응들을 일으켜 많은 양성자와 중성자들, π 메존, 전자들과 같은 2차립자들을 발생시킨다. 실제로 핵자당 에네르기가 50MeV인 ⁴⁰Ar이온이 감도구역에 침적시킨 비이온화선량은 $2.13 \cdot 10^7 \text{ MeV/g}$ 이고 양성자, 중성자, 전자들에 의한 비이온화선량은 각각 $6.14 \cdot 10^6$, $5.68 \cdot 10^6$, $8.03 \cdot 10^6 \text{ MeV/g}$ 정도로서 비교될 정도의 값들을 가지며 π 메존의 비이온화선량은 $1.42 \cdot 10^6 \text{ MeV/g}$ 이였다.(10%의 오차로) 이것은 2차립자들이 비이온화선량평가에서 기본부분을 차지한다는것을 보여준다.

인공지구위성이 우주방사선환경에서 동작할 때 받게 되는 중이온의 핵자당 에네르기스펙트르는 $1 \sim 10^4 \text{ MeV}$ 대역에 놓이므로 반도체소자들에서 비이온화선량은 기본적으로 2차립자들에 의하여 발생된다는것을 알수 있다.

모의에서 얻어진 결과는 고에네르기대역에서 자료기지의 자료부족으로 인한 오차로 하여 정확한 값이라고는 할수 없지만 경향성은 일치한다고 볼수 있다.

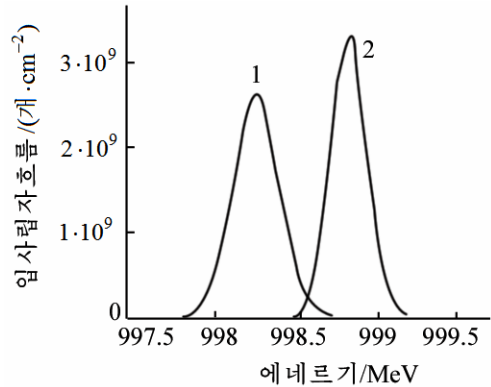


그림 3. W층을 통과한 입사립자흐름의 에네르기 분포

1-W층이 있는 경우, 2-W층이 없는 경우

맺 는 말

다층차폐해석모의프로그램 MULASSIS를 리용하여 충구조를 가진 CMOS소자에서 중이온에 의한 이온화 및 비이온화침적선량을 평가한 결과 비이온화선량과 달리 이온화선량은 충구조에 관계되지 않으며 에네르기침적은 중이온에 의하여 발생한 2차립자에 의해 발생한다는것을 밝혔다.

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, 3021, 2002.
- [4] A. S. Kobayashi et al.; IEEE Trans. Nucl. Sci., 52, 6, 2673, 2005.

Effects of Heavy Ion Irradiation on the CMOS Transistor with Layer Structure

Kim Ryon Hui, Kim Kwang Hyok

We studied the ionization and nonionization dose deposited in CMOS transistor with layer structure by using the multilayer shielding analysis simulation system.

We explained that the ionization dose was not related with layer structure and energy deposition was produced from secondary particles happened by heavy ion.

Key words: CMOS, ionization dose, ionization dose