

## 전자 및 양성자포임에 대한 위성태양빛전지의 상대손상결수결정

리령미, 고병춘

위대한 령도자 김정일동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《우리는 과학기술분야에서 이룩한 성과에 만족하지 말고 나라의 과학기술을 새로운 높은 단계으로 발전시키기 위하여 적극 투쟁하여야 합니다.》(《김정일선집》 증보판 제11권 133페이지)

인공지구위성의 태양빛전지에서 우주복사선포임에 의하여 나타나는 출력감소를 평가하는 상대손상결수는 현재 제한된 범위에서 알려져있다.[3] 인공위성운행에서는 각이한 두께의 보호유리층을 가지고있는 태양빛전지의 출력변화와 전지뒤면의 지지체층을 투과하는 우주복사선들에 대한 태양빛전지의 포임거동을 정확히 평가하는 문제가 중요하게 제기된다.[1]

우리는 전자와 양성자포임에 대한 위성태양빛전지의 상대손상결수를 결정하는 방법을 제기하고 규소태양빛전지의 상대손상결수를 결정하였다.

### 1. 전자 및 양성자포임에 대한 상대손상결수의 평가방법

위성태양빛전지에 대한 우주복사선은 매우 넓은 범위의 에너지를 가지고  $4\pi$ 방향에서 입사하는 전자와 양성자들이 기본성분으로 된다. 이 전자와 양성자들이 태양빛전지반도체결정속에 만드는 살창결합들은 전지의 p-n이음에서 빛전기효과에 의하여 발생한 전자와 구멍들을 포획하면서 전지출력을 감소시키게 된다.

위성태양빛전지의 이러한 특성변화는 1MeV 전자에 의한 포임실험자료와 위성궤도에서의 각이한 고에너지우주복사선들을 1MeV 전자흐름으로 환산하는 등가흐름계산을 결합하여 평가할수 있다. 그러므로 위성태양빛전지출력변화의 평가정확성은 그 궤도에서 얻어진 1MeV 전자등가흐름에 의하여 결정되며 이 등가흐름은 각이한 보호유리층을 가진 태양빛전지들의 전자와 양성자에 대한 상대손상결수에 의하여 결정된다.

두께가  $t$ 인 보호유리층을 가진 태양빛전지에  $4\pi$ 방향으로 입사하는 에너지가  $E$ 인 복사선립자들의 1MeV 수직방향입사전자에 대한 상대손상결수는 다음과 같이 표시된다.

$$D(E, t) = \frac{1}{4\pi} \int_0^{\pi/2} D(E_0, \theta) \cdot 2\pi \sin \theta \cos \theta d\theta \quad (1)$$

여기서  $D(E_0, \theta)$ 는 차폐층이 없는 태양빛전지에서 에너지가  $E_0$ 인 복사선립자가 각  $\theta$ 로 입사할 때의 1MeV 전자에 대한 상대손상결수이며  $E$ 는 전지의 보호유리결면에서 입사방사선립자의 에너지이다.

실제로 태양빛전지에서 에너지는 보호유리에서의 입사각과 두께에 의존하며 보호층

속에서 립자의 주행거리  $R(E)$ 에 의하여 다음과 같이 표시된다.

$$E_0(E, \theta, t) = R^{-1}[R(E) - t/\cos\theta] \quad (2)$$

여기서  $R^{-1}$ 은 주행거리의 거꾸함수이다.

원자번호가 크지 않은 보호층속에서 전자의 주행거리  $R_1$ 은 다음과 같은 경험식을 리용하여 계산할수 있다.

$$R_1 = \begin{cases} 0.412E^{1.27-0.095 \cdot 4\ln E} & 0.01 \leq E \leq 2.5\text{MeV} \\ 0.530E - 0.106 & E > 2.5\text{MeV} \end{cases} \quad (3)$$

한편 태양빛전지의 유효반도체물질을 투과하는 전자경로는  $1/\cos\theta$ 에 비례하지만 전지를 투과하는 전자수는 전자의 입사방향에 수직인 전지표면의 사영면적( $\cos\theta$ )에 비례하므로 태양빛전지에서 전자들이 만드는 손상효과는 입사각에 무관계하게 된다. 따라서 전자쫄임의 경우 식 (1)에서  $D(E, \theta) = D(E, 0)$ 으로 볼수 있으며 이것은 차폐없는 태양빛전지에서 에네르기가  $E$ 인 전자들을 수직으로 입사시키면서 측정한 상대손상결수  $D(E, 0)$ 을 리용할수 있는 근거를 준다.

차폐가 없는 규소태양빛전지에서 빠른 전자에 의한 손상이 입사각에 독립이라는 사실은 실험적으로도 확인되었다. 따라서 두께가  $t$ 인 보호유리층을 가진 태양빛전지에서 전자쫄임에 대한 상대손상결수  $D(E, t)$ 는 다음과 같이 표시할수 있다.

$$D(E, t) = \frac{1}{2} \int_0^{\pi/2} D(E_0, 0) \cdot 2\pi \sin\theta \cos\theta d\theta \quad (4)$$

한편 질량이 큰 대전립자인 양성자의 경우에는 태양빛전지반도체물질속에서 주행거리 에 따르는 변위손상분포가 전자의 경우와는 반대로 자리길의 끝부분에서 최대로 된다. 태양빛전지에서 유효반도체층의 두께가 보호층보다 작으므로 전지표면에서 입사각의 효과는 양성자가 전지층을 투과하는 경우에는 전자쫄임때와 같이 입사각에 무관계하고 투과하지 못하는 경우에는 수직입사양성자에 의한 상대손상결수측정값에  $N_d(E_0)/N_d(E_n)$ 과 같은 보정결수를 곱하여 고려할수 있다. 여기서  $N_d(E_0)$ 은 에네르기  $E_0$ 을 가지고 각  $\theta$ 로 태양빛전지반도체물질에 입사하는 양성자에 의하여 만들어진 전체 변위원자수이며  $N_d(E_n)$ 은 우의 양성자에 의한 투영주행거리를 주행거리로 하는 수직입사양성자의 에네르기  $E_n$ 에 대응하는 변위원자수로서 이것들은 모두 다음과 같은 킨친-피스변위손상모형[2]으로 계산할수 있다.

$$N_{id}(E) = E/2E_d \quad (5)$$

여기서  $E_d$ 는 태양빛전지반도체물질의 변위에네르기이다.

수직입사양성자의 에네르기는 태양빛전지반도체물질속에서 양성자의 주행거리  $R_2$ 에 의하여  $E_n = R_2^{-1}[R_2(E_0)\cos\theta]$ 로 표시되며  $E_0$ 은 보호유리층에서의 양성자주행거리  $R_3$ 에 의하여 식 (2)와 같은 방법으로 표시된다. 이때  $R_2$ 와  $R_3$ 은 대전립자수송모의프로그램 SRIM에 의하여 평가할수 있다.

따라서 양성자쫄임에 대한 태양빛전지의 상대손상결수는 다음과 같이 표시할수 있다.

$$D(E, t) = \frac{1}{4\pi} \int_0^{\theta_n} D(E_0, 0) \cdot 2\pi \sin\theta \cos\theta d\theta + \frac{1}{4\pi} \int_{\theta_n}^{\pi/2} D(E_n, 0) \cdot \frac{N_d(E_0)}{N_d(E_n)} 2\pi \sin\theta \cos\theta d\theta \quad (6)$$

여기서  $\theta_n$ 은 에네르기가  $E$ 인 양성자가 두께가  $t$ 인 보호유리와 두께가  $d$ 인 태양빛전지를 모

두 투과할수 있는 최대입사각으로서 다음과 같이 표시된다.

$$\theta_m = \arccos(d / R_2^{-1}(E_0)) \quad (7)$$

즉 식 (6)에서 첫번째 항은 양성자가 보호유리와 전지를 완전히 투과하는 경우이고 두번째 항은 보호유리층을 투과한 양성자가 반도체전지층내부에 미치는 경우에 해당된다.

## 2. 규소태양빛전지의 상대손상결수결정

태양빛세기  $135.3\text{mW/cm}^2$ , 온도  $30^\circ\text{C}$ 의 조건에서 비저항  $2\Omega/\text{cm}$ , 유효반도체두께  $0.15\text{mm}$ 인 n/p형 규소태양빛전지에서 각이한 두께의 보호유리층에  $4\pi$ 방향으로 입사하는 전자의 에

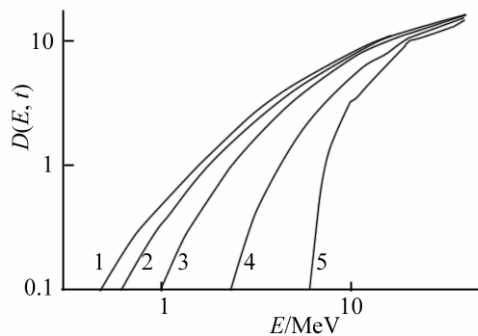


그림 1. 전자의 에너지에 따르는 상대손상결수변화  
1-5는 보호층두께가 각각 0, 0.033 5, 0.168, 0.671,  $1.120\text{g/cm}^2$ 인 경우

네르기에 따르는 상대손상결수변화와 양성자의 에너지에 따르는 단락전류와 개방전압에 대한 상대손상결수변화는 그림 1-3과 같다.

일반적으로 규소태양빛전지에서  $10\text{MeV}$ 이하의 에너지를 가지는 양성자조임에서는 전지의 단락전류와 개방전압변화에 대한 상대손상결수는 차이난다.[3]

우리가 얻은 전자 및 양성자조임에 대한 상대손상결수변화는 선행연구결과[2, 3]와 일치하며 따라서 이 방법으로 임의의 태양빛전지구조에 대한 상대손상결수들을 결정할수 있다는것을 보여준다.

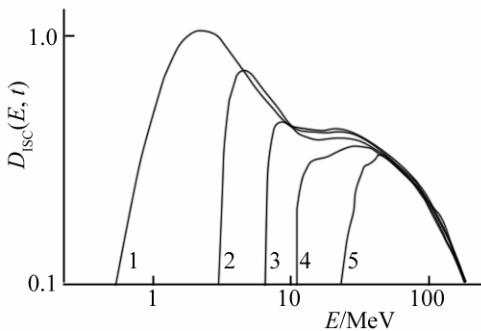


그림 2. 양성자의 에너지에 따르는 단락전류에 대한 상대손상결수변화  
1-5는 보호층두께가 각각 0, 0.016 8, 0.067 1, 0.167 5,  $0.671\text{g/cm}^2$ 인 경우

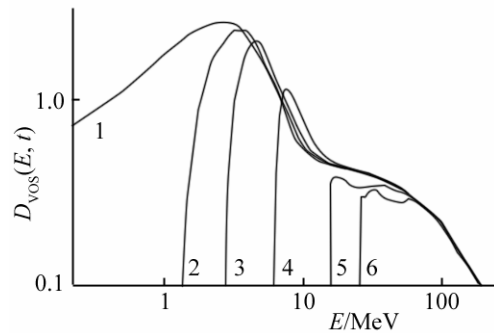


그림 3. 양성자의 에너지에 따르는 개방전압에 대한 상대손상결수변화  
1-6은 보호층두께가 각각 0, 0.006 69, 0.016 8, 0.067 1, 0.335,  $0.671\text{g/cm}^2$ 인 경우

## 맺 는 말

각이한 보호층두께를 가진 위성태양빛전지에서 전자조임에 대한 상대손상결수와 양성자의 에너지에 따르는 단락전류와 개방전압에 대한 상대손상결수들을 평가한 결과 우리가 제안한 방법으로 임의의 태양빛전지구조에 대한 상대손상결수들을 결정할수 있다는것을 확증하였다.

## 참 고 문 헌

- [1] W. Laiadi et al.; Superlattices and Microstructures, **58**, 44, 2013.
- [2] G. S. Was; Fundamentals of Radiation Materials Science, Springer, 74~78, 2007.
- [3] H. Y. Tada et al.; Solar Cell Radiation Handbook, NASA JPL Publication, 246~252, 1982.

주체105(2016)년 6월 5일 원고접수

### **Investigation on the Determination of Relative Damage Coefficients for Electron and Proton Irradiation in the Satellite Solar Cells**

*Ri Ryong Mi, Ko Pyong Chun*

We established the estimation method of relative damage coefficients for electron irradiation in satellite solar cells having the various protection layers.

We established the estimation method of relative damage coefficients for the short circuit current and opened circuit voltage of satellite solar cells in the case of proton irradiation.

Key words: relative damage coefficient, satellite solar cell