

반도체집적소자보호를 위한 양성자차폐복합재료연구

박호남, 한금혁

우주비행체안에 내장되어있는 CPU를 비롯한 반도체집적소자들을 방사선으로부터 보호하는 문제는 실천적으로 매우 중요한 문제로 제기된다.

선행연구[1]에서는 우주기술발전분야에서 일어난 사고의 39%가 인공위성내부에 설치한 전자요소들이 우주복사환경에서 자체의 성능을 잃기때문이라고 평가하였다.

선행연구[2-4]에서는 우주비행체안에 내장되어있는 전자장치들을 보호할수 있는 중성자차폐재료에 대하여 서술되어있다. 그러나 우주비행체들이 비행하는 반알렌띠에 존재하는 방사성립자들의 대부분이 수MeV로부터 300MeV까지의 에너지를 가진 양성자이다. 그러므로 이러한 양성자들의 흐름속에서 우주비행체가 비행하는 기간 반도체집적소자를 비롯한 전자요소들은 오동작하게 된다.

논문에서는 다층차폐모의도구 MULASSIS를 리용하여 반도체집적소자를 보호할수 있는 양성자차폐복합재료의 차폐특성을 고찰하였다.

1. 양성자차폐재료의 선정

양성자는 중성자와 질량수가 같으나 전하를 띤 립자로서 물질과 호상작용할 때 중성자와 물질과의 호상작용효과 이외에 물질원자안에서 전기마당과의 호상작용도 하게 된다. 즉 쪼임손상에 의하여 결함이 형성되거나 핵반응이 일어날수 있으며 물질을 이루는 전자들이 만드는 전기마당과의 호상작용도 일어난다.[1] 그 결과로 반도체집적회로는 오동작할수 있다.

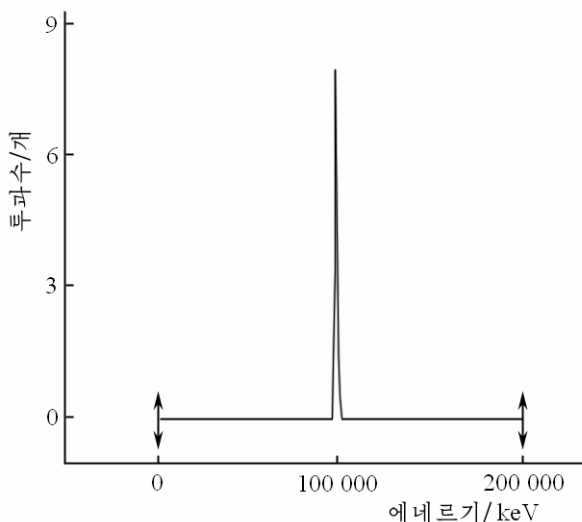


그림 1. 양성자투과스펙트르

양성자차폐재료를 선정하기 위하여 원소주기표의 주요원소들에 대하여 모의를 진행하였다.

양성자원천은 반도체2극소자의 닫김시간이 변하는 최소흐름을 가산하여 인위적으로 조정하였다. 즉 전체 흐름속이 10^{12}cm^{-2} 정도 되게 선정하였다.

양성자차폐재료를 선정할 때 알루미늄보다 가벼우면서도 차폐효과가 대등하도록 두께가 4.5mm인 에폭시수지우에 주기표의 주요원소들이 0.5mm두께로 부착된 차폐구조를 가산하고 차폐재료를 뚫고나온 전체 양성자수를 평가하였다.

Ni-0.5mm, 에폭시수지-4.5mm구조

의 양성자투과스펙트르는 그림 1과 같다.

우와 같은 방법으로 모의한 주요원소들의 양성자투과수는 표 1과 같다.

표 1에서 보는바와 같이 양성자차폐에 좋은 재료들로서는 Co, Ni, Tl, Tc, Hg 등을 들 수 있다. 이 재료들중에서 Ni을 기본재료로 선정하였다.

표 1. 주요원소들의 양성자투과수

원소명	투과수	원소명	투과수	원소명	투과수	원소명	투과수
Pb	15 360	W	15 393	B	20 036	Al	19 408
Si	20 943	C	19 962	Fe	15 571	Co	14 196
Ir	15 222	Ni	14 397	Pd	15 420	Sm	16 549
Gd	15 721	Tl	14 769	La	19 013	Ta	19 378
Ba	19 830	Ge	19 235	Rb	19 881	K	21 766
Ti	19 304	Kr	20 557	Ga	18 574	Br	20 667
Cr	15 911	Cu	15 248	Zn	19 535	Kr	20 557
Mn	15 730	Se	19 180	Mo	15 924	Y	19 535
Zr	15 541	Nb	15 282	Ag	15 240	Tc	14 929
Ru	15 668	Rh	15 582	Xe	19 525	Sb	16 754
Te	18 099	I	19 025	Os	15 113	Cs	18 239
Hf	15 692	Re	15 338	Bi	15 615	Pt	15 393
Au	17 239	Hg	14 971	Po	15 668	—	—

2. 양성자차폐복합재료

일반적으로 고에너지 방사성립자차폐재료로서는 무거운 원소를, 저에너지 방사성립자차폐재료로서는 가벼운 원소로 된 재료를 리용한다.

우리는 무거운 원소로서 월프람과 니켈을 리용하였으며 가벼운 원소로서는 수소와 탄소를 포함하는 화합물을 주목하고 WC와 Ni, 흑연과 수소가 많이 포함되어있는 비스페놀A형수지를 선정하였다. 비스페놀A형수지는 150°C 정도의 온도에서도 탈기가 거의나 되지 않으므로 오랜 기간 써도 그 특성을 보존할수 있기때문에 적합한 재료로 인정되고있다. 실제적으로 탈기시험에서 이 재료는 합격된 재료로 판명되었다.

앞에서 지정한 4가지 재료의 배합비를 합리적으로 선정하기 위하여 $L_9(3^4)$ 직교표를 리용하였다.

인자와 수준은 표 2와 같다.

표 2. 인자와 수준

수준	인자			
	WC	Ni	흑연	에폭시
1	0.002 42	0.247 9	0.169 9	4.575 6
2	0.002 46	0.250 4	0.170 2	4.584 0
3	0.002 45	0.249 1	0.169 6	4.566 7

직교표에 기초하여 복합재료에 대한 양성자차폐률을 모의한 결과는 표 3과 같다.

표 3. 복합재료에 대한 양성자차폐률

시편번호	차폐률/%	시편번호	차폐률/%	시편번호	차폐률/%
1	99.990 847	4	99.99	7	99.991 15
2	99.990 913	5	99.989 43	8	99.991 45
3	99.990 53	6	99.989 9	9	99.991 18

표 3으로부터 알수 있는바와 같이 시편번호 8이 양성자를 가장 잘 차폐한다. 즉 WC—0.002 45mm, Ni—0.249 1mm, 흑연—0.170 2mm, 에폭시수지—4.566 7mm인 경우 양성자차폐가 99.991 45%로서 가장 잘 차폐되었다.

한편 반알렌더에서의 양성자분포모의도구 OMERE를 리용하여 정지궤도위성의 초기자리길에 가까운 표본화된 궤도인 원지점고도 35 870km, 근지점고도 180km에서 모의한 양성자분포는 그림 2와 같다.

그림 2에서 보는바와 같이 양성자분포는 지수함수분포에 따른다. 이 곡선을 지수함수로 근사화하면 다음과 같다.

$$Y = 6.7 \cdot 10^7 \cdot \exp(-E/0.33) + 23\ 087.9$$

여기서 E 는 양성자의 에네르기이다.

시편 8에 대하여 원지점고도 35 870km, 근지점고도 180km인 경우의 양성자흐름속에서 모의한 양성자투과스펙트르는 그림 3과 같다.

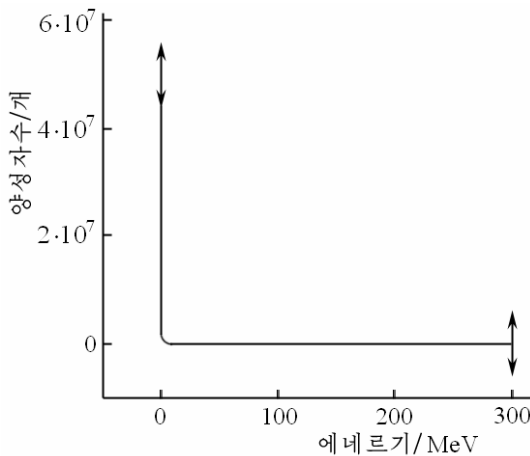


그림 2. 원지점고도 35 870km, 근지점고도 180km에서 모의한 양성자분포

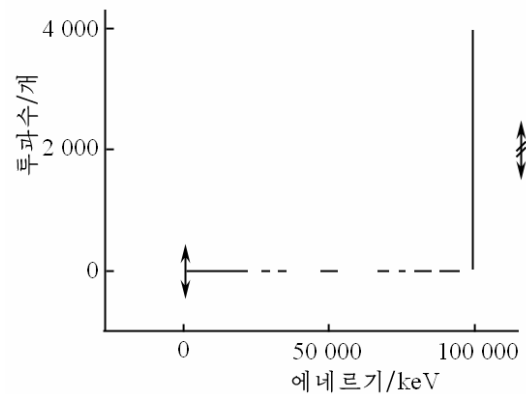


그림 3. 시편 8에 대한 양성자투과스펙트르

그림 3으로부터 양성자차폐복합재료는 100MeV근방의 양성자에 대해서만 얼마간의 투과를 허용하고 나머지대역에 대하여서는 거의나 차폐한다는것을 알수 있다.

이러한 양성자흐름에 대하여 복합재료의 양성자차폐률은 99.993 39%로서 같은 두께의 Al의 차폐률 99.993 29%와 류사하였다. 그러나 선정 한 복합재료의 밀도는 1.6g/cm³로서 Al(2.7g/cm³)보다 훨씬 가벼우므로 우주비행체에서 양성자차폐에 효과적으로 리용할수 있다.

맺 는 말

모의결과는 새로운 복합재료가 전통적인 차폐재료인 Al에 비해볼 때 비중이 더 작고 차폐능력도 높은것으로 하여 우주비행체안의 전자요소보호에 리용할수 있다는것을 보여 준다.

참 고 문 헌

- [1] 고병춘, 재료의 방사선조임효과, 외국문도서출판사, 6~20, 주체105(2016).
- [2] S. Chen et al.; Radiation Physics and Chemistry, 109, 27, 2015.
- [3] S. Katz et al.; Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, B 333, 46, 2014.
- [4] P. Vishwanath et al.; Journal of Non-Crystalline Solids, 404, 167, 2014.

주체108(2019)년 6월 5일 원고접수

Study on the Proton Shielding Complex Materials for the Protection of the Chips

Pak Ho Nam, Han Kum Hyok

The simulation results have shown that the novel complex materials can be used to the protection of electronic devices in space systems, because they have lower density and higher shielding capacity than Al which is traditional shielding material.

Key words: proton, shielding material