

우주선용 GaAs/Ge 태양전지에 관한 연구

(Study on GaAs/Ge Solar Cell for Space Use)

*이 만근, 박 이준, 최영희, 전홍석
한국 에너지 기술 연구소

ABSTRACT

The interests on GaAs solar cell grown on Ge substrates as an alternative of GaAs substrate arises from its very close lattice parameters, very small difference in thermal expansion coefficients, and much higher fracture toughness between GaAs and Ge. In addition, for many space power application, it would be a most attractive solar cell with high radiation resistance of GaAs and high reliability for the reverse current damage of Ge, and expecting the theoretical efficiency limit of the tandem GaAs/Ge solar cell is 34% under 1 Sun, AM 0, and 28°C condition.

In this report, we have reviewed the performance and the manufacturing technics of GaAs/Ge solar cell, and current status of reserch in GaAs/Ge solar cell.

I. 서 론

인공위성용 태양전지는 그동안 변환효율 15 ~ 20% (1 Sun, AM 1.5, 28°C)의 단결정 태양전지가 주종을 이루어 왔다. 그러나 단결정 규소 태양전지의 경우 대기권 밖에 노출시 방사선 충격에 의한 결정의 손상으로 전력 변환효율이 급격히 감소하게 되어, 그 사용 연한이 보통 5년 가량으로 제한된다. 또한 낮은 변환효율로 인하여 상대적으로 넓은 설치 면적을 요구하게 되며, 이에 따른 우주선의 경제성도 무시할 수 없다.

90년대 들어서 인공위성이 통신 및 정보산업의 전달 매체로써 본격적으로 이용됨에 따라서 인공위성의 수요가 급증하게 되고 동시에 위성의 주 전원이며 직접적인 수명을 결정하는 우주선용 태양전지에 대한 연구가 급속히 진행되고 있다. 그리고 새로운 형

태의 태양전지는 고 효율 및 긴 수명을 요구하게 되고 이에 적합한 태양전지가 바로 GaAs 태양전지라고 할 수 있다.

GaAs 태양전지는 첫째, 변환효율이 21 ~ 27% (1 Sun, AM 1.5, 28°C)로 Si에 비하여 상대적으로 높고 둘째, 방사선 충격에 강하여 수명면에서 8년 가량을 기대할 수 있게 되었다. 그러나 GaAs 물질 자체가 기계적인 충격에 약하고 비중이 무거워서 인공위성에 이용하기에는 기술적, 경제적인 제약을 받게 된다. 따라서 이와 같은 GaAs의 물성적인 약점을 보완하기 위하여 GaAs 기판(Substrate) 대신에 Ge 기판을 대체한 GaAs/Ge 태양전지를 고려하게 되었다.

GaAs/Ge 태양전지는 기판으로 사용되는 Ge의 비중이 GaAs와 비슷하나 기계적인 충격에 강하고 점성이 높아서 상대적으로 얇은 두께에 넓은 면적의 태양전지를 얻을 수 있다. 그리고 Ge가 물성적으로 내열성이 강해서 우주에서 발전시에 태양전지의 고온화 또는 역전류 현상에 따른 열화현상에 강하다. 따라서 GaAs/Ge 태양전지는 GaAs/GaAs 단일 태양전지에 비하여 단위무게당 출력이 높고 동시에 긴 수명의 태양전지를 기대할 수 있다.

태양전지의 전력변환 효율면에서도, 두 물질의 에너지준위(Band gap)가 GaAs는 1.43eV, Ge는 0.67eV로써 상대적으로 낮은 에너지 준위를 갖고 있어서 다층형 태양전지(Tandem solar cell)의 제작이 가능하고 실제 이론적으로 가장 높은 34%의 변환효율을 기대할 수 있다.

II. 본 론

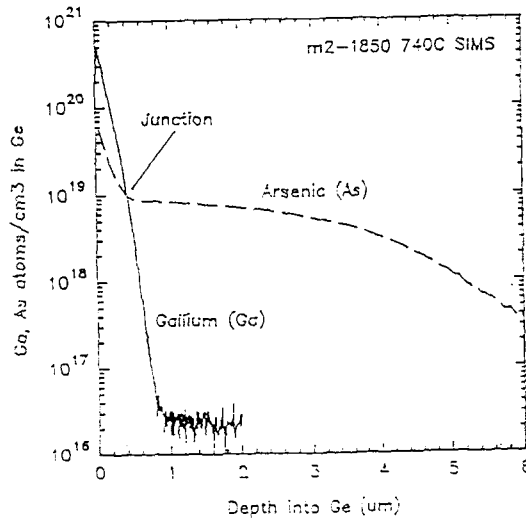
GaAs/Ge 태양전지는 GaAs 기판을 Ge로 대체하여 그 위에 GaAs 태양전지를 구성시킨 이종접합 화합물 반도체 태양전지의 하나이다.[1]-[5] 이는 세 원소가 주기율표 상에 $_{31}\text{Ga}$, $_{32}\text{Ge}$, $_{33}\text{As}$ 으로 서로 인접해있고 격자상수가 Ge: 0.565754nm와 GaAs: 0.565325nm로써 그 차이가 0.076%에 불과하여, 이종접합시 발생하는 문제점인 접합부의 균열 또는 물리적인 뒤틀림이 거의 없다.[6] 특히 상대적으로 높은 기계적인 강도와 점성으로 인하여 Ge 기판의 두께는 200 μm , GaAs의 경우는 400 μm 로써 두배 가량의 무게를 줄일 수 있으며, 3" 이상의 넓은 면적의 태양전지 제작도 가능하다. 따라서 단위 무게당 출력도 GaAs 단일 태양전지에 비하여 높은 값을 얻을 수 있다.

전력변환 효율면에서도 GaAs 태양전지는 이론적으로 1 Sun, AM 0, 28°C에서 최대

27% 가량을 기대할 수 있으나 GaAs/Ge의 경우 동일 조건하에서 34% 가량의 효율을 얻을 수 있다.[7] 그러나 현재까지의 연구 결과로는 GaAs 박막을 Ge 기판위에 형성 시키는 과정에서 열확산 (Thermal diffusion) 현상으로 인해 접합부에 높은 밀도의 결합층이 형성되고 이로 인해 GaAs 층에서 형성된 전류가 Ge 층으로 전달되는 과정에서 많은 전하 손실이 발생하여 실제 GaAs/Ge 다층 태양전지는 GaAs 단일 태양전지보다 실효율이 감소하는 기현상을 보이고 있다.

II - 1. GaAs/Ge 태양전지 종류 및 제조 공정

Ge 기판 위에 GaAs 박막을 형성 시키는 동안 < 그림 1 >과 같이 Ga 와 As가 Ge 기판층에 높은 고체용용도를 갖고 확산되어 가고 또한 Ge도 GaAs 박막층에 확산되어 Ge 기판층에 P-N 접합층을 형성하게 된다.[8] 따라서 지금까지의 연구 방향은 이와같은 열확산을 최소화하여 GaAs/Ge 태양전지의 효율을 GaAs 단일 태양전지 효율로 근접시키는 형태인 GaAs/Ge 단층형 (Mono-cell) 또는 수동형 (Passive-type) 태양전지와, 반면에 Ge층에 P-N 접합층을 형성시키고 그 위에 GaAs 태양전지를 성장시킨 형태의 GaAs/Ge 다층형 (Tandem-type) 또는 능동형 (Active-type) 태양전지라고 한다.

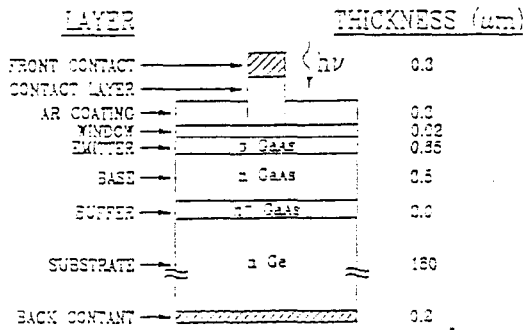


< 그림 1 > SIMS Profile에 의한 Ga, As의 Ge 기판 내부로의 열적 확산현상

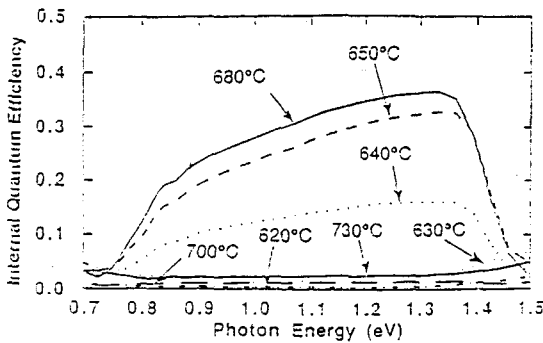
II - 1 - 1. 단층형 GaAs/Ge 태양전지의 구조 및 제조 공정[91-[111]

단층형 GaAs/Ge 태양전지는 < 그림 2 >와 같이 GaAs 기판을 Ge로 대체하여 GaAs 태양전지를 형성시킨 구조로써, 기본적인 구조는 GaAs 단일 태양전지와 동일하다. 단지 Ge 기판을 사용함으로써 기계적인 강도와 내열성을 높여서 태양전지의 수명과 경제성을 향상시킨 것으로 생각할 수 있다.

제조 공정은 주로 GaAs 박막 형성시에 As 와 Ga가 Ge 기판으로 열확산되는 것을 막기 위하여 MOCVD (Metal organic chemical vapor deposition) 방식으로 GaAs 박막의 초기 형성시에 < 그림 3 >과 같이 상대적으로 저온인 600 ~ 630°C에서 0.2 μ m/h의 낮은 속도로 0.1 μ m 두께 정도를 형성시키고, 다음 단계에서 GaAs 박막을 700°C 미만에서 빠른 속도로 성장시켜 확산 현상을 최대로 줄임으로써 양질의 단층형 GaAs/Ge 태양전지를 만든다. 이와같은 방법으로 미국의 ASEC에서는 2 x 2 cm² 단층형 태양전지에서 20.5%의 (1 Sun, AM 0, 28°C) 변환효율을 얻고있다.



< 그림 2 > 단층형 GaAs/Ge 태양전지의 구조 (측단면도)

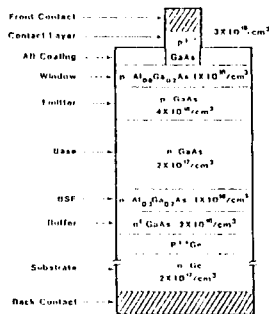


< 그림 3 > Ge 기판 위의 GaAs 성장 조건과 내부의 양자 효율

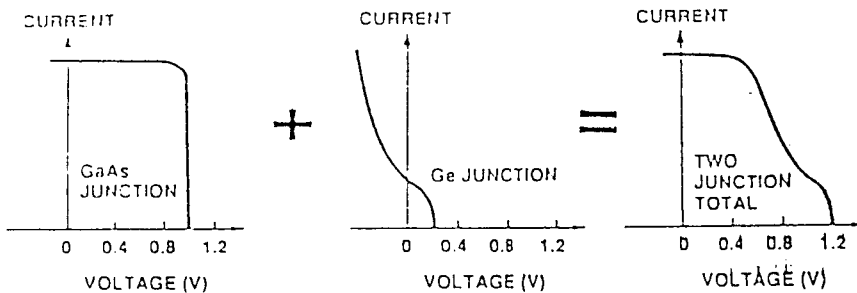
II - 1 - 2. 다층형 GaAs/Ge 태양전지의 구조 및 제조 공정[1]-[4],[12]

다층형 GaAs/Ge 태양전지의 구조는 기본적으로는 < 그림 4 >와 같이 GaAs/GaAs 태양전지의 구조와 유사하다. 먼저 Ge 기판에 P-N층을 형성시키고 그 위에 GaAs 태양전지를 MOCVD 방식으로 성장시키게 된다. 이때 Ge 기판에 P-N 접합층을 형성시키는 방법이 두 가지로 나뉘어 진다. 첫째, GaAs 박막 형성시에 열적 확산에 의하여 자연적으로 생성된 Ga: P층과 As: N층을 이용하여 Ge 태양전지를 얻는 방법과 둘째, CVD (Chemical vapor deposition) 또는 열 도우핑으로 먼저 Ge 기판에 P-N층을 형성시키고 그 위에 MOCVD 방식으로 GaAs 태양전지를 얻는 방식이다.

다층형 GaAs/Ge 태양전지는 현재까지 얻어진 결과로는 접합면에서의 높은 결합 밀도로 인하여 일반적으로 < 그림 5 >과 같이 충전도(Fill factor)가 나쁜 I-V 특성곡선이 얻어진다. 그러나 최근에 미국의 Spire에서는 1 Sun, AM 0, 25°C 조건에서 면적 0.136 cm² 다층형 태양전지에서 23.4%의 변환 효율을 얻었다. 그러나 온도에 따른 출력변화가 크고 넓은 면적을 얻지 못함에 따라서 실용화 하는데에는 많은 문제점이 있는 것으로 여겨지고 있다.



< 그림 4 > 다층형 GaAs/Ge 태양전지의 구조 (축 단면도)

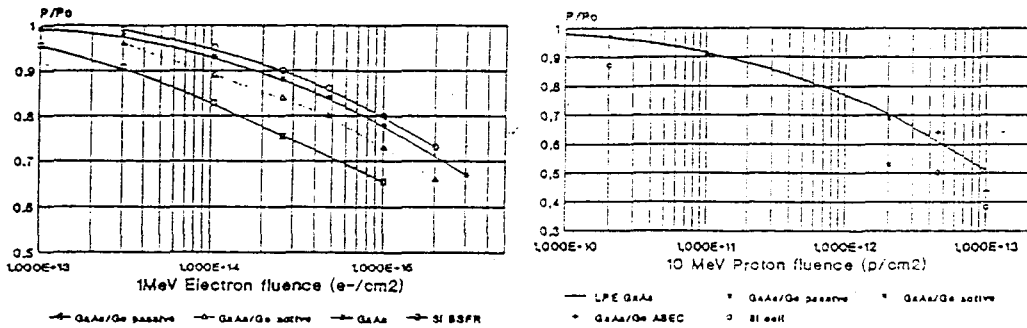


< 그림 5 > GaAs 박막과 Ge 기판의 접합면에서의 I-V 특성과 합물 현상

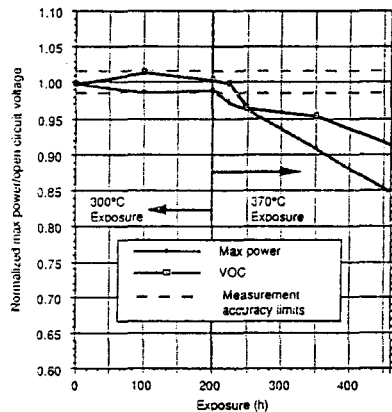
II - 2. GaAs/Ge 태양전지의 안전성

GaAs/Ge 단층형 태양전지의 안정성은 일반적으로 GaAs/GaAs 단일형이나 또는 GaAs/Ge 다층형보다 높은 것으로 알려지고 있다. < 그림 6 >에서는 1 MeV 전자 및 양자 충격 실험결과를 보여주고있다. 그리고 < 그림 7 >에서는 높은 열에대한 효율변화 현상을 보여주고 있다. < 표 1 >에서는 역전류 실험에 대한 GaAs/Ge 태양전지의 안정성을 보여주고 있다.

각 그림과 표에서 볼 수 있듯이 GaAs/Ge 태양전지의 경우 방사선에 대한 높은 안정성과 내열성에 따른 역전류에 대한 안정성 등에 비추어 기존의 GaAs/GaAs 태양전지에 비하여 높은 효율을 얻을 수 있을것으로 여겨지고 있다.



< 그림 6 > 1 MeV 전자 충격으로 인한 태양전지의 효율변화



< 그림 7 > 1 MeV 양자 충격으로 인한 태양전지의 효율변화

< 표 1 > GaAs/GaAs 및 GaAs/Ge 태양전지에 대한 역전류 인가 실험

Lot	Group	No. Cells Tested	No. Cells with CFF Decrease by > 2%	Avg. CFF (%)		Avg. EFF (%)	
				Before	After	Before	After
A	GaAs/Ge	21	0	77.1	76.7	16.3	16.6
	GaAs/GaAs	33	21	79.9	61.1	15.2	12.1
B	GaAs/Ge	33	1	76.5	75.1	16.4	16.3
	GaAs/GaAs	19	17	79.3	46.3	16.6	10.9
C	GaAs/Ge	15	1	78.4	75.3	17.7	16.3
	GaAs/GaAs	15	13	81.4	62.4	18.8	13.3

III. 결론

GaAs/GaAs 태양전지의 단점을 보완하며 새로운 형태의 태양전지로 등장한 GaAs/Ge 태양전지가 가장 유력한 미래형 태양전지로서 대두하게 되었다. 지금까지의 연구결과로는 GaAs/Ge 태양전지는 방사선에 강하고 내열성이 높아서 GaAs/GaAs 태양전지보다 긴수명을 기대할 수 있을 것으로 여겨진다. 그러나 GaAs/Ge 태양전지는 현재까지 GaAs/GaAs 단일 태양전지보다 효율이 낮아서 단위 면적당 출력이 작고, 따라서 우주선에 적용시 상대적으로 넓은 설치 면적을 요구하게 된다.

결국 미래의 우주선용 태양전지는 현재까지 밝혀진 바로는 GaAs/Ge 태양전지가 가장 유망하며, 단지 그 변환효율을 최대 이론치에 근접하는 30% 선으로 향상시키는 데에 주력하고 있다.

[참고문헌]

1. C.R.Huggins et al, 21nd IEEE PVSC, 1989, pp 318-322
2. R.K.Patal et al, 20th IEEE PVSC, 1988, pp 607-610
3. S.P.Tobin, et al, 20th IEEE PVSC, 1988, pp 256
4. Y.C.M.Yeh et al, 20th IEEE PVSC, 1988, pp 451-456
5. J.C.Chen et al, Appl. Phys. Lett. 58(20), 1991, pp 2282-2284
6. K.I.Chang et al, 19th IEEE PVSC, 1987, pp 273-279
7. B.Beaumont et al, 9th EC PVSC, 1989
8. S.p.Tobin et al, Spire Corp. TR-89-10, Bedford, 1989
9. Y.C.M.Yeh et al, 21st IEEE PVSC, 1990
10. S.J.Wojtczuk et al, 22nd IEEE Trans. on Electron Dev., vol 37, 1990, pp 455
11. S.Bollani et al, 22nd IEEE PVSC, 1991, pp 295-298
12. S.Gasner et al, 21st IEEE PVSC, 1990, pp 1314-1319