

# 위성 전원용 적층형 태양전지 연구동향

기술해설

## The Study Trend about Compound Solar Cell for Sattlite Power Source

차인수\*, 이경섭\*, 이만근\*\*

(In-Su Cha, Kyung-Sup Lee, Man-Geun Lee)

**Key Words(중요용어)** : Solar Cell(태양전지), GaAs(갈륨비소), Tanden structure(적층형 구조), Lattice parameter(격자상수), Thermal expansion coefficients(열팽창계수), Conversion efficiency(변환효과).

### 1. 서 론

태양전지는 지금 까지 저가의 실리콘 계열의 태양 전지가 지상용과 위성용을 막론하고 광범위하게 이용되어 오고 있으며, 현재까지도 경제성이나 신뢰성 면에서 지상용으로는 가장 적합한 것으로 여겨 지고 있다.

그러나 위성용 전원으로 사용되는 태양전지의 경우는 지상용과 달리 태양전지가 높은방사선에 직접 노출되고 동시에 고온과 저온의 주기가 되풀이되는 열적 충격으로 인하여 실리콘 태양전지의 효율이 급격히 감소하는 심각한 문제점이 상존해왔다.

위성용의 경우 한번 발사된 발사체는 모든 전원을 태양전지에 의존하기 때문에 태양전지의 수명이 곧 위성체의 수명을 결정하며 따라서 무엇보다도 먼저 긴수명과 신뢰성이 가장 높은 비중을 차지하게된다. 아울러 경제성을 높이기위하여 단위 면적당 발전량이 많고 무게가 가벼운 태양전지가 가장 바람직한 형태의 위성용 태양 전지라 할 수 있다.

<표 1> 에서 볼수 있듯이 III-V족을 대표하는 GaAs계 태양 전지는 기존의 실리콘계의 태양전지에 비하여 방사선에 대한 저항력이 크고 높은 변환 효율의 태양전지를 얻을 수 있어서 긴 수명과 아울러 단위 면적당 출력을 높일 수 있는데 이와 같은 장점으로 인하여 90년초에 이르러 위성용 태양전지는 단결정 실리콘 태양전지에서 GaAs/GaA 태양전지로 급속히 전환되기 시작하였으며, 근래에는 GaAs/GaAs에서 GaAs/Ge로 바뀌어 가고 있으며 GaAs기판을 사용한 GaAs/GaAs태양전지의 경우는 기계적

인 충격과 열적 변화에 약하며 비중이 무거워 단위 출력당 무게가 증가하고 값이 비싸서 경제성이 문제 시되었다.

표 1. 재료 분류에 따른 태양 전지의 분류

Table 1. The sort of Solar Cell by material kinds.

실리콘계의 태양전지	화합물 반도체 태양전지	적층형 태양전지
단결정 실리콘	III-V:GaAs,InP, GaAlAs,GaInAs 등	화합물/IV: GaAs/Ge GaAlAs/Si 등
다결정 실리콘		
비정질 실리콘	II-VI족: CdS, CdTe, CuInSe <sub>2</sub>	화합물/화합물: GaAs/InP GaAlAs/GaAs

이론적으로 GaAs/GaAs 태양전지는 1Sun, AMO, 25°C에서 30%가량의 효율을 얻을 수 있으며 또한 다른 물질과의 이중 접합을 통하여 손쉽게 두단자를 갖는 고효율의 적층형(tandem-type)태양 전지를 얻을 수 있으며 그 예로는 GaAs/Ge, GaAlAs/ GaAs, GaInAs/GaAs, GaAlAs/ GaAs/Ge등이 있다.

### 2. 다층형 GaAs/Ge태양전지

#### 2.1 다층형 GaAs/Ge 태양전지의 구조

GaAs/Ge 태양전지의 구조는 근본적으로 GaAs/GaAs 태양전지와 유사하며 GaAs/Ge 태양전지는 Ge 기판에 먼저 열확산층 또는 박막층을 형성시켜 Ge 태양전지를 구성하고 그 위에 GaAs 태양전지를 쌓고 광흡수면 에서 발생하는 전하의 표면 재결합

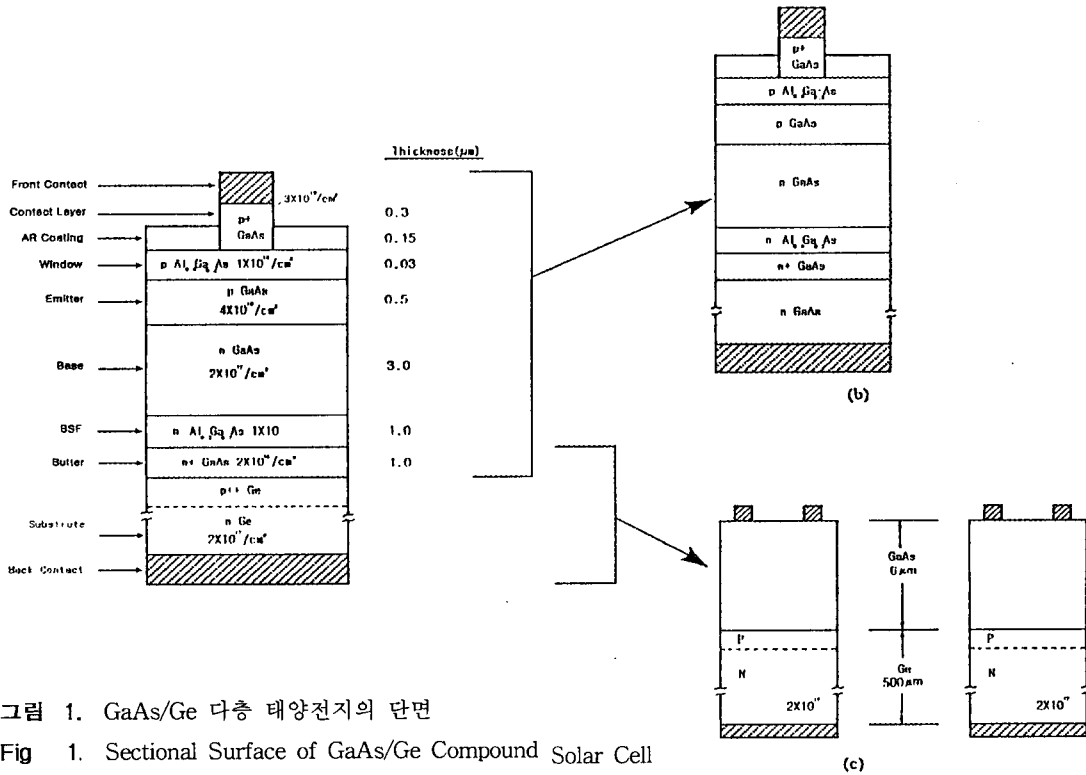


그림 1. GaAs/Ge 다층 태양전지의 단면  
 Fig 1. Sectional Surface of GaAs/Ge Compound Solar Cell

속도(surface recombination velocity)를 줄이기 위한 목적으로 얇은 Ga(Al)As의 층을 [그림 1]과 같이 형성시켜 태양전지를 구성한다.<sup>11)</sup>

Ge 기판은 주로 (100) 방향에서 (110) 방향으로 태양으로 2~4° 가량 기울어지고 두께는 50 내지 200 μm 가량 되는 것을 사용하게 된다. 그리고 Ge 기판은 GaAs 박막을 성장시키기 전에 먼저 뒷면에서 발생할 수 있는 원하지 않는 자동 도우핑 현상을 줄일 수 있도록 해야 한다.

[그림 1]에서 볼 수 있듯이 각 층은 적절한 두께를 유지해야 하며 박막 두께는 재래식 GaAs 태양전지 구조와 동일하다. Ge 기판 위의 p+은 Ga를 열확산시켜서 얻을 수도 있다.<sup>2), 3)</sup>

이 때 Ga와 As의 열확산 계수(thermal diffusion coefficient)와 고용도(solid solubility)는 [그림 2]과 같다.<sup>4)</sup>

Ga의 고용도는  $10^{21} \text{ cm}^{-3}$ 로 높은 반면 확산 계수는 작아서 Ga이 Ge 표면에 높은 농도로 도우핑되어 p형 Ge층이 형성되는 동시에 As는 열확산 계수가 크기 때문에 Ge 기판 내부로 깊숙이 확산된다. 실제 Ga와 As의 확산 계수 차이는 500배 가량 되므로 Ga에 비해 As는 500배 가량 깊이 Ge 기판 내부는 As 도핑(doping)으로 n형이 되고 Ge 기판 표면

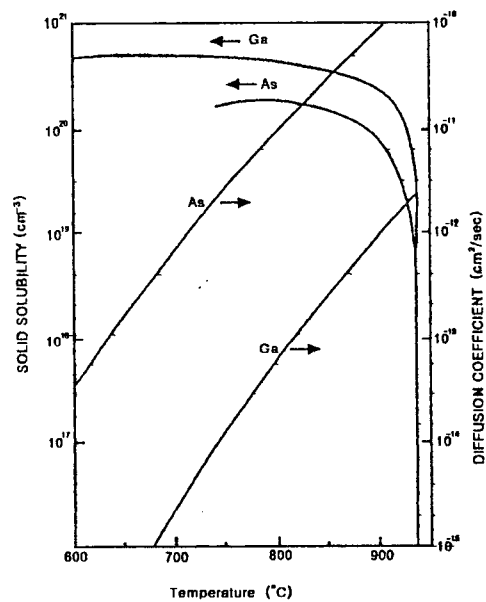


그림 2. Ga와 As의 Ge에 대한 고용도(solid solubility) 및 확산 계수(diffusion coefficient)  
 Fig. 2. Solid Solubility and diffusion Coefficient about Ga and As of Ge.

은 Ga 도핑으로 p형이 되어 자연적으로 p-n 접합이 형성된다.

**2.2 GaAs/Ge 다층 태양 전지의 변환 효율**

다층 구조 태양전지(tandem solar cell) 변환 효율 측정상의 보편적인 문제점은 그 효율 측정의 기준이 이 모호하다는 점이다. 실제로 태양전지가 태양으로부터 받는 빛은 [그림 3]에서 볼 수 있는 것처럼 'AM 0', 'AM 1' 등의 구분과 같이 대기권 밖과 안에서 분광 보정(spectral distribution)이 크게 다르다.

그러나 태양전지의 변환 효율 측정에 널리 사용되는 인공 태양(solar simulator)의 분광 조성은 적외선 영역 성분이 많으므로 인공 태양으로 측정된 다층 태양전지의 효율은 실제보다 높게 나타나게 된다. 이와 같은 현상은 초창기에 GaAs/Ge 태양전지의 효율이 21%를 상회하는 엉뚱한 결과를 낳기도 했다.<sup>11, 21, 23</sup> 근래에 들어서는 광원으로 제논등(xenon lamp)과 함께 색온도(color temperature)와 분광조성이 다른 여러 가지 광원을 혼용하는 여관(filtering) 기법이 개발되어 인공 태양과 분광 조성이 같은 인공광을 얻는 것이 어려워져 태양전지의 효율을 말할 때, 특히 다층 태양전지의 경우에 그 효율과 함께 측정에 사용된 인공 태양을 명기하는 것이 관례로 되어 있다. <표 2>은 1991년 말 미국의 Spire사에서 만든 GaAs/Ge 다층 태양전지의 변환 효율 측정 예이다.

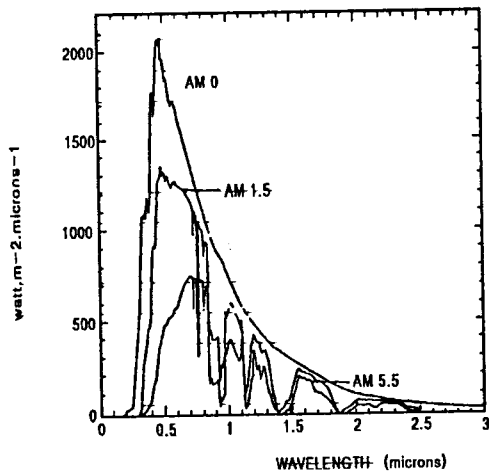


그림 3. 태양광의 분광 조성 (AM 0, AM 1.5, AM 5.5)

Fig 3. Spectral formation of photovoltaic (AM 0, AM 1.5, AM 5.5)

표 2. 1 Sun, AM 0, 25°C 조건에서 측정된 GaAs/Ge 다층 태양전지의 변환 효율

Table 2. GaAs/Ge Compound Solar Cell Conversion Efficiency at 1 Sun, AM0, 25°C Condition

Cell	Test Date	Voc V	1xIsc mA/cm <sup>2</sup>	FF %	Suns	η %
5389-1940-1-6 5 μm GaAs/Ge Tandem Photoarea: 0.136 cm <sup>2</sup>	8/90	1.302	30.68	80.4	9	23.4
	8/90	1.165	30.68	72.4	1	18.9
5505-2221-3-11 2 μm GaAs/Ge Tandem Photoarea: 0.412 cm <sup>2</sup>	5/91	1.339	28.38	83.9	18	23.2
	5/91	1.186	28.38	75.8	1	18.6

<표 2>는 동일한 GaAs/Ge 다층 태양전지의 변환 효율 등 측정치가 측정 기관과 인공 태양의 광원에 따라 큰 차이가 있음을 보여주고 있다.

표 3. 미국의 SERI(현 NREL), NASA, 및 Spire사에서 측정된 GaAs/Ge 다층 태양전지의 특성 (1 Sun, AM 0, 25°C 조건)

Table 3. GaAs/Ge compound Solar Cell characteristic by measured SERI, NASA and Spire company

	Test Gate	Comments	Voc V	1xIsc mA/cm <sup>2</sup>	FF %	η %
GaAs/Ge Tandem 5389-1940-1-6/5 μm GaAs Top Cell						
Spire	8/90	Multi-Source Sim.	1.165	30.68	72.4	18.8
SERI	9/91	Multi-Source Sim.	1.159	30.74	65.2	17.0
NASA	1/91	39.000ft AM 0.5	1.152	29.04	69.7	17.0
Estimated AM0 Efficiency using NASA extrapolated AM0 Jsc with AM0.5 Voc and Fill			1.152	30.29	69.7	17.7

**2.3 GaAs/Ge 태양전지의 안정성**

대기권 밖에서 사용되는 태양전지는 효율과 함께 그 수명에도 높은 신뢰도가 요구되게 된다.

**2.3.1. 양자와 전자의 충격에 대한 안정성 ; 우주선(cosmic ray)에 대한 안정성**

GaAs/Ge 태양전지는 일반적으로 GaAs 단층 태양전지보다 양자나 전자에 의한 충격에 강한 것으로

알려지고 있다. 미국의 Jet Propulsion Lab에서 수행한 우주선(양자 또는 전자) 충격에 의한 변환 효율의 감소는 [그림 4]와 같다. 여기서 종축은 충격실험 전과 후의 태양전지 특성 비교 치이고 횡축은 양자선속(proton flux)이다. 약간 작은 에너지를 가진 양자의 충격이 태양전지 특성에 미치는 영향이 더 크다는 것을 알 수 있다. [그림 5]는 전자 충격 실험 결과로서 전자는 큰 에너지를 가진 경우가 태양전지 특성에 미치는 영향이 크다는 것을 알 수 있다.

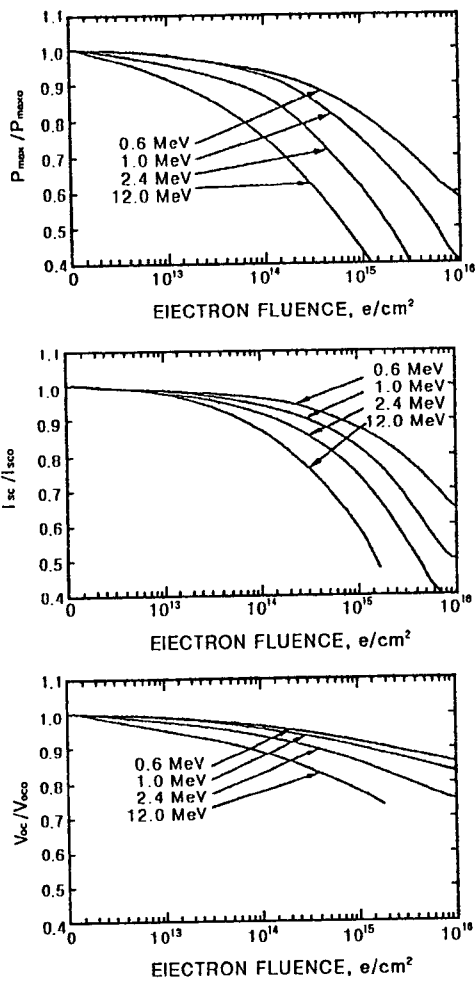


그림 4. 양자 충격에 의한 태양전지 특성의 변화  
Fig. 4. The change of characteristic of Solar Cell by quantum collision

### 2.3.2. 열주기에 대한 안정성

모든 태양전지는 대기권 밖 노출 온도에 의한 효율 감소현상이 일어난다. [그림 6]은 300℃를 기준으

로 한 열주기 시험 결과로서 300℃에 대한 노출 시간과 변환 효율 및 개방 전압의 변화를 보여주고 있다. a) 와 b)는 각각 변환 효율 측정 온도가 200℃와 28℃이다. [그림 7]로부터 300℃에서 1000시간 노출 시켜도 변환 효율에는 변화가 없음을 알 수 있다.

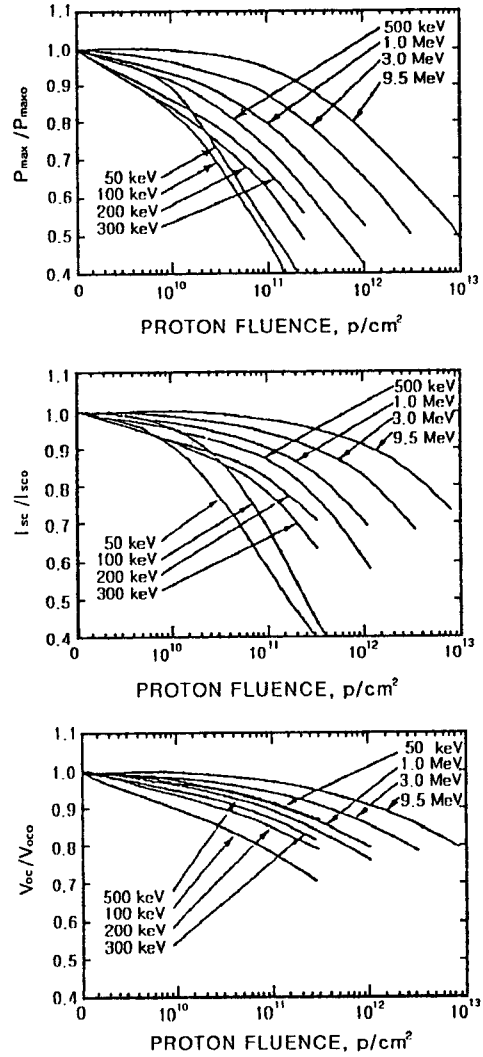


그림 5. 전자 충격에 의한 태양전지 특성의 변화  
Fig. 5. The change of characteristic of Solar Cell by electron collision

그러나 온도의 상한을 370℃로 올리면 급격한 효율 감소가 일어남을 [그림 7]에서 확인할 수 있다.

이와 같은 효율 감소 현상은 주로 GaAs/Ge 태양전지 자체의 물성 변화라기 보다는 태양전지 구성에 필수적인 금속성 물질과 GaAs와 Ge의 접합 부위에

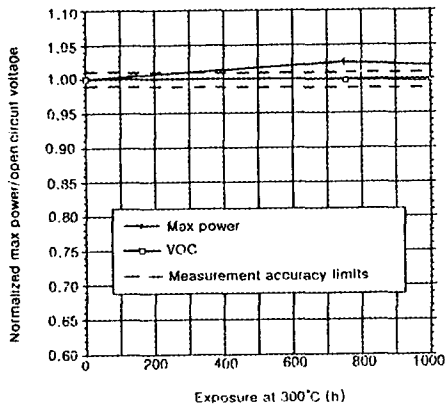
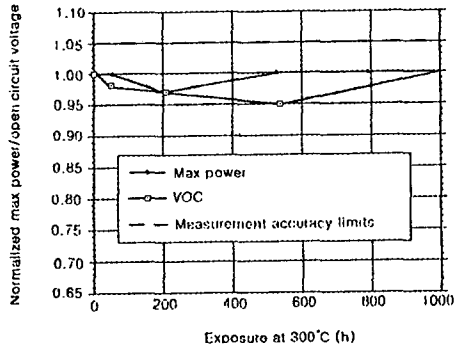


그림 6. 300°C 기준 열주기 시험으로 인한 GaAs/Ge 태양전지의 효율 변화

Fig 6. The change efficiency for GaAs/Ge Solar Cell by 300°C thermal(period) test

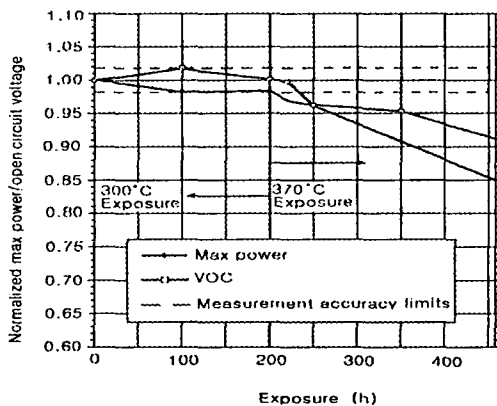


그림 7. 370°C 기준 열주기 시험 결과 (효율 측정 온도 28°C)

Fig. 7. The test results of thermal period on 370°C condition

서 발생 하는 직렬 저항(serial resistance)이 커짐으로 일어나는 것으로 알려져 있다. 열주기 시험에 대하여 GaAs/Ge 태양전지는 다른 어떤 태양전지보다도 안정성이 높은 것으로 추정되고 있다.

2.3.3 역전류와 역전압에 대한 안정성

태양전지를 인공위성의 전원으로 사용하기 위해서는 기본 포장 단위를 직·병렬로 연결하여 어레이를 구성하여야 한다. 이 때 구성된 어레이의 일부분에 그늘이 지거나 불량으로 발전이 되지 않을 경우 나머지 태양전지에는 역기전력이 걸리게되어 심각한 효율 감소 등의 문제가 생긴다. 이와 같이 부분적으로 그늘이 지거나 또는 부분적으로 태양전지가 망가질 경우에 시스템의 전기적 안정성은 단위 태양전지의 역기전력에 대한 안정성에 의해 좌우된다. <표 4>는 역기전력 현상에 대한 미국의 ASEC(Applied solar Energy Corp.)의 실험 결과이며, GaAs/Ge 태양전지는 GaAs 단체 태양전지보다 훨씬 높은 역전류에 대한 안정성을 가지고 있음을 알 수 있다.<sup>4)~10)</sup>

표 4. GaAs/Ge 및 GaAs/GaAs 태양전지에 대한 역전류 인가 힘 결과

Table 4. Reverse current test results for GaAs/Ge Solar Cell

Lo	Group	No. Cells Tested	No Cells with CFF Decrease by > 2%	Avg. Before	CFF(%) After	Avg Before	EFF (%) After
A	GaAs/Ge	21	0	77.1	76.7	16.3	16.6
	GaAs/GaAs	33	21	79.9	61.1	16.2	12.1
B	GaAs/Ge	33	1	76.5	75.1	16.4	16.3
	GaAs/GaAs	19	17	79.8	46.8	16.6	10.9
C	GaAs/Ge	15	1	78.4	75.8	17.7	16.8
	GaAs/GaAs	15	13	81.4	62.4	18.8	13.3

3. 다층형 GaAs/Si 태양전지

GaAs/Si 태양전지는 GaAs 태양전지의 장점과 Si 태양전지의 장점을 결합시켜 값싸고 높은 효율과 우주선에 대한 안정성 등을 높이기 위하여 고안된 태양전지중의 하나이다. 오늘날 반도체 소자의 소재로 가장 널리 많이 사용되는 Si은 지구상에 가장 많이 분포되어 있는 원소로서 경제성과 취급이 편리성 및 넓은 면적의 기판(현재 최대 직경 20 cm) 제조 공정이 보편화되어 있는 이점을 지니고 있는 반도체 물질이다.

특히 Si은 밀도가 GaAs이나 Ge과 비교할 때 반

이하이고(GaAs ; 5.32g/cm<sup>3</sup>, Si ; g/cm<sup>3</sup>) 기계적인 강도에서도 다른 재료에 비하여 상대적으로 강하다. 따라서 대기권 밖에서 사용할 때 단위 면적당 가장 출력이 크다.

그러나 Si 기판 위에 GaAs 박막을 형성시키는데는 여러 가지 문제점이 따른다. 특히 GaAs의 격자 상수가 0.565325 nm인데 비하여 Si는 0.54305 nm로서 4% 가량 작기 때문에 기판과 박막 상에 균열이 생기고 많은 결정 결함이 수반된다. 특히 열주기 시험에서 나타나는 효율의 급격한 감소 현상은 GaAs 박막과 Si 기판 사이의 균열이 가속화되면서 발생하는 문제점으로 아직까지 뚜렷한 해결 방안이 제시되지 않고 있는 실정이다.

따라서 GaAs/Si 태양전지는 고온/저온 주기가 되풀이되는 대기권 밖보다는 비교적 안정된 온도에서 사용되는 미래의 지상용 태양전지로 연구하는 것이 바람직하다고 여겨지고 있다.

### 3.1 GaAs/Si 태양전지의 구조

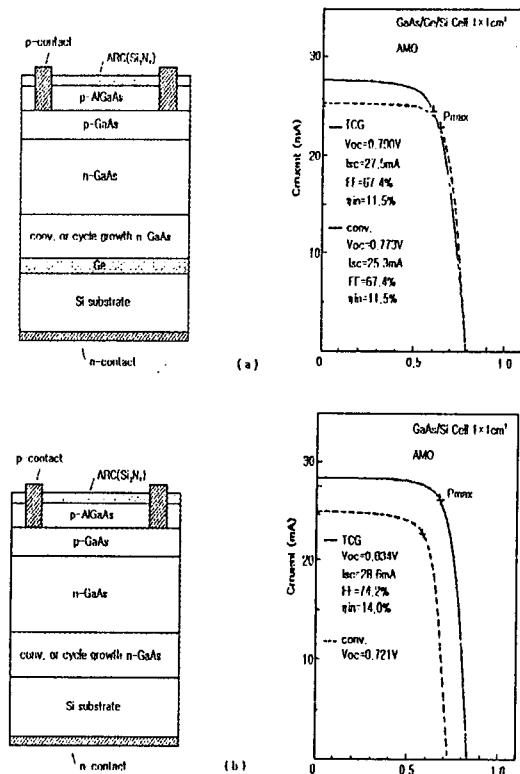


그림 8. 여러 가지 GaAs/Si태양전지의 구조와 전류-전압 특성

Fig. 8. Structure of various GaAs/Si Solar Cell and Current-Voltage characteristic

GaAs/Si 태양전지의 구조도 GaAs/Ge 태양전지나 GaAs/GaAs 단체형 태양전지와 유사하다. [그림 8]에서 볼 수 있듯이 여러가지구조의 GaAs/Si 태양전지와 전류-전압 특성을 생각할 수 있으며, GaAs 박막과 Si 기판 사이를 어떻게 완충시키느냐가 중요한 변수가 된다. 즉, 격자 상수의 차이에서 오는 높은 밀도의 변위와 이로 인한 소수 캐리어 수명(life time)의 급격한 감소가 매우 중요한 변수로 작용한다. 따라서 재래식 GaAs/Si 전지는 모두 에미터(emitter)를 얇게 하여 소수 캐리어의 확산 거리를 줄이는 구조를 가지고 있다. GaAs/Si 태양전지에 있어서 가장 심각한 문제는 첫째로, GaAs와 Si의 격자 상수 차이를 극복하는 것이며 둘째로는, GaAs와 Si 사이의 열확산 현상을 막는 일이다. 두 번째 문제는 GaAs와 Ge 사이에 발생했던 것과 같은 문제로서 Ga와 As는 각각 Si 기판에 확산되어 들어가고 동시에 Si는 GaAs 박막층에 확산되어 들어간다. 이와 같은 현상을 막기 위한 완충층의 형성이 GaAs/Si 태양전지 설계와 제조에서 가장 중요하다고 말할 수 있다.

### 3.2 GaAs/Si 태양전지변환 효율

GaAs/Si 태양전지의 변환 효율은 대체로 변위 등 결정 격자의 결함 밀도에 의하여 결정된다. 결정 격자의 결함은 전하 이동시 재결합 중심으로 작용하므로 소수 캐리어(minority carrier)의 확산 거리를 감

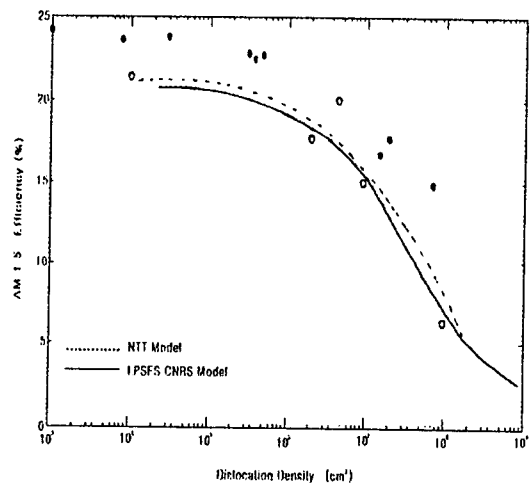


그림 9. 격자 결함 밀도가 GaAs/Si 태양전지의 변환 효율에 미치는 영향

Fig. 9. The effect of conversion efficiency for GaAs/Si Solar Cell by lattice defect density

소시키는 동시에 공간 전하 재결합전류(space charge recombination current)를 증가시킨다. 따라서 단락 전류와 개방 전압 등이 이와 같은 결정 결함의 영향을 받게 된다. [그림 9]는 이와 같은 결정 격자의 결함 밀도가 GaAs/Si 태양전지의 이론적인 변환 효율에 미치는 영향을 잘 보여주고 있다.<sup>[11]~[18]</sup> 다시 말하면 GaAs/Si 태양전지의 효율은 Si 기판 위에 형성되는 GaAs 층의 격자 결함 밀도에 크게 영향을 받는다.

GaAs/Si 태양전지는 낮은 효율을 제외하면 거의 GaAs 단체 태양전지와 유사한 특성을 가진 것을 알 수 있다.

### 3.3 GaAs/Si 태양전지의 안정성

#### 3.3.1 방사선에 대한 안정성

전자총으로 1MeV 정도의 에너지를 가진 전자선속을 GaAs/Si 태양전지에 조사시키면 접합의 깊이에 따라 전자 충격으로 인한 변환 효율 감소의 폭이 달라진다. [그림 10]에서 볼 수 있듯이 GaAs/Si 태양전지는 접합의 깊이가 얇을수록 방사선에 강하다는 것을 보여주고 있다. 동시에 [그림 11]에서 볼 수 있듯이 기판에 결정이 가지고 있는 격자 결함의 밀도가 높을수록 방사선에는 안정된 것으로 나타나고 있다. [그림 12]는 GaAs 단체형, GaAs/Si 그리고 BSF(back surface field) Si 태양전지의 방사선 조사로 인한 변환 효율의 변화를 보여주고 있다. 특히 GaAs/Si 태양전지의 변환 효율이 급격히 감소하는 것을 볼 수 있다.

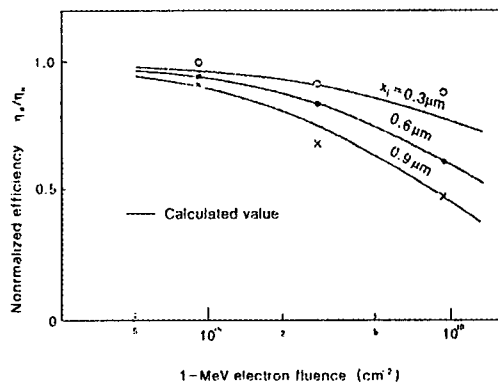


그림 10. 접합 깊이에 따른 전자 충격으로 인한 변환 효율의 감소  
Fig. 10. Conversion efficiency decrease by electron collision with contact depth

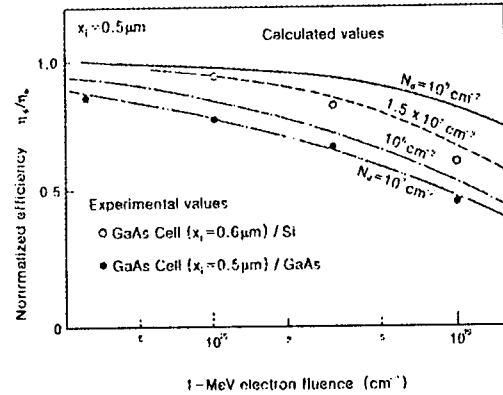


그림 11. 격자 결함 밀도에 따른 전자 충격으로 인한 변환 효율의 감소  
Fig. 11. Conversion efficiency decrease by lattice density with electron collisions

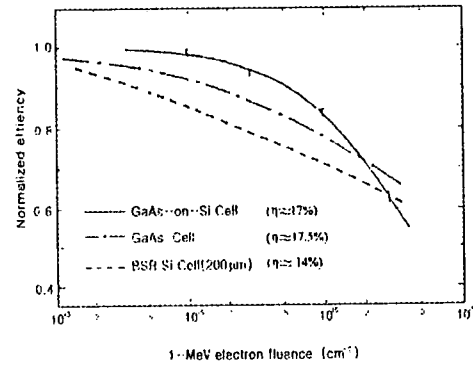


그림 12. 전자 충격으로 인한 GaAs, BSF Si, GaAs/Si 태양전지의 효율 변화  
Fig. 12. GaAs, BSF Si, change conversion efficiency by electron collision

#### 3.3.2 열주기에 대한 안정성

앞서 언급한 바와 같이 GaAs/Si 태양전지는 열주기 시험에 특히 약하다고 알려져 있다. 이는 격자 상수의 차이와 선형 열팽창 계수의 차이가 상대적으로 커서 열주기로 인하여 미세 균열이 확장되고 격자 결함이 증가하므로 전하의 흐름이 균일하지 못하게 되어 효율이 감소하기 때문이다.

### 4. 다층형 GaAs/GaAs 태양 전지

GaAs /GaAs 태양전지의 경우 기계적인 충격과 열적 변화에 약하며 비중이 무거워 단위 출력당 무게가 증가되고 값이 비싸서 문제가 된다.

GaAs 태양전지의 구조는 [그림 12]와 같은 형태 이외에도 여러 가지 변형된 구조를 생각 할수있다. 즉 접합부에서 표면상태(surface state)를 최소로 하여 전류 손실을 줄이기 위하여 emitter와 base 사이에 완충 기능을 갖는 emitter'와 base'층을 그림과 같이 형성된다.

CONTACT	CONTACT	CONTACT	CONTACT	h g f e d c b a
WINDOW	WINDOW	WINDOW	WINDOW	
EMITTER	EMITTER	EMITTER	EMITTER	
BASE	EMITTER'	BASE'	EMITTER	
	BASE	BASE	BASE'	
B.S.F.	B.S.F.	B.S.F.	BASE	
			B.S.F.	
BUFFER	BUFFER	BUFFER	BUFFER	
SUBSTRA TE(GaAs)	SUBSTRA TE(GaAs)	SUBSTRA TE(GaAs)	SUBSTRA TE(GaAs)	
(a)	(b)	(c)	(d)	

그림 13. GaAs/GaAs 태양전지의 서로다른 박막구조에 따른 4가지구조

Fig. 13. The four structure of another thin film GaAs/GaAs Solar Cell

5. 화합물 반도체 태양전지

태양전지는 p-n접합을 이용하여 태양 에너지를 전기적 에너지로 직접 바꾸어 주는 광전소자(photo-voltaic)이다. 이론적으로 효율은 주로 1.5eV주위의 에너지 갭을 가지는 반도체에서 가장 좋으며 이러한 반도체로는 Si,InP,GaAs,CdSe,CdTe등이 있다. 이중 가장먼저연구된물질은 Si이며 ,그 이유는 재료의 풍부성과 낮은가격,그리고 공정기술의 발달때문이다.이는 이론적으로 더 높은 변환 효율(GaAs:27%, Si:21%)을 가지고 있을뿐만아니라높은온도에서도동작이가능하며 우주공간에서 입자들의 방사에 대한 뛰어난 저항성을 가지고 있다는 사실이다.

IBM의 H.J.Hovel등은 1973년 액상 증착법(LPE)을 통해 p-type 도판트로 Zn을 사용하여 p-AlxGa1-xAs/p-GaAs/n-GaAs구조의 태양전지를 제작하여 AM 0(Air Mass:135mW/cm<sup>2</sup>) 상태에서 13%효율을 가진다고 보고하였다.이후 1977년에 R.D.Dupuis등은 최초로 MOCVD기술을 이용하여 AlGaAs/GaAs의이종 접합 구조태양 전지를 제작하였고,AM 0상태에서 12.8%(without AR coating)의 효율을 가진다고 보고

하였다. 또한R.R Saxena등은 1980년에 MOCVD기술을 이용하여 AlGaAs/GaAs concentrator 태양전지를 제작하여 AM 2인 상태에서 369 태양 아래서 23%의 높은 효율을 갖는 태양전지를 개발하였다.

6. 결 론

결국 미래형 고효율 태양전지는 이미 이론적인 한계에 도달한 실리콘 계열의 태양전지보다는 변환효율이 높고 적층형 태양전지 등으로의 이용이 용이한 화합물 반도체 태양전지의 연구가 활발히 진행될 것으로 예상되며 ,특히 단위면적당 출력이 크게 향상된 GaAs계열의 태양전지와 저기화를 목표로한 박막 태양전지인 CIS계열이 주류를 이루어 나가리라고 생각되며, 아울러 GaAs/Ge,GaAs/Si 태양전지가 가장 밝은 개발 전망을 갖는 미래형 태양전지라고 여겨진다.

참 고 문 헌

1. C.R. Abernathy, S.J. Perton, F.Ren, W.S. Hobson, T.R. Fullowan,A.Katz, A.S. Jordan and J.Koovalchick, Appl.Phys.Lett.105,375(1990)
2. M. Yamaguchi et al, J. Appl. Phys. 66, p. 917 (1989)
3. A. Freundlich et al., J. Cryst. Growth, 93, p. 487 (1988)
4. K-I Chang, Y.C. M. Yeh, P.A.Iles, J.Tracy and R.K. Morris, "Hetero-structure GaAs/Ge Solar Cells", 19th IEEE PVSC Record, 1987, pp.273 - 279
5. S.Kamath et al.,IEEE Tran. on Eletron Device, ED\_24, pp473
6. S.Bedeir,J.Appl.Phys.,vol.50,pp 7267(1979)
7. A.Leycuras et al., proc.21th IEEE PVSC.Conf., pp21(1990)
8. S.Gasner,G.Pack, M.Gates and R.Given, "Stability of GaAs/Ge Solar Cell with Standards front High-Temperature Exposure", 21st IEEE PV,Conf. 1990, pp.1314-1319.
9. Steven,J.Wojtczuk, et al., "GaAs/Ge tandem Cell Space Concentrator Developments", IEEE Trans, on Electron Dvices, vol.38, no.2, Feb. 1990, pp.455-463
10. C.H. Cheng, Y.C.M. Yeh, C.L. Chu and T.ou, "Improved MOCVD technology in high Thrupt,high Efficiency GaAs/Ge Solar cell



- manufacture" '22nd IEEE PV.Conf.1991 ,pp. 393-398
11. E. Anspaugh, "Photo and Electron Damage Coefficients for GaAs/Ge Solar Cell" '22nd IEEE PV Conference 1991, pp1593-1598
  12. W.S. Hobson, S.J. Peaeton, and L.J.Lopata, J.Vac Sci Technol.A11,1006(1993)
  13. B.Y. Tsaur et al., 17th IEEE-PVSC 1984, Kissimmie, Florida, p. 440
  14. T. O´hara et al, 19th IEEE-PVSC,(1987)
  15. M. Shimizu et al., Proc. 18th IEEE-PVSC, p. 14 (1985)
  16. Y. Itoh et al., 3rd Int PVEC, Tokyo, Nov. 1987
  17. T. O´hara et al., idem ref.[10]
  18. N. Fl. Massy et l., Mat. Res. Soc. Sym. Proc., Vol 91, p. 99 (1987)

**저자소개**



**이경섭**  
 1956년 11월 9일생. 1983년 2월 조선대학교 전기공학과 졸업. 1991년 2월 동 대학원 전기공학과(공학). 1994년 2월-95년 2월 동경공업대학 전자물리공학과 객원연구원. 1988년-1996년 현재 동신대학교 전기전자공학과 부교수. 당 학회 편수이사.



**차인수**  
 1959년 8월 6일생. 1982년 조선대학교 전기공학과 졸업. 1984년 중앙대학교 대학원 전기공학과(석사). 1989년 조선대학교 대학원 전기공학과(공학). 1990년-97년 현재 동신대학교 전기공학과 전임강사. 조교수, 부교수.

▶ 1997년도 11월호의 기술해설 제목과 저자는 다음과 같으니 많은 참고 바랍니다.

題 目	著 者 및 所 屬
인쇄회로기판의 EMI 수치해석에 관한 최근 동향	장인범, 김진사, 김상결, 이준웅(광운대)
유전특성의 측정기술 동향	박종성, 고영준, 김종현(광운대)