

## MOCVD를 이용한 GaAs/Si태양전지의 제작과 특성에 관한 연구

A Study on Fabrication and Properties the GaAs/Si Solar Cell using MOCVD

신일철 동신대학교 대학원 전기전자공학과  
임중열 동신대학교 대학원 전기전자공학과  
차인수 동신대학교 공대 전기전자공학과

Il-Chul Shin Dept. of Electrical Eng, Dongshin University  
Jung-Yeol Lim Dept. of Electrical Eng, Dongshin University  
In-Su Cha Dept. of Electrical Eng, Dongshin University

### Abstract

The goals of the present study lie in presenting the direction of researches and developments for GaAs based solar cells, as well as in taking a step toward the establishment of GaAs MOCVD technologies.

On the other hand, the GaAs on Si substrates has been recognized as a lightweight alternative to pure GaAs substrate for space application, because its density is less than the half of GaAs or Ge. So, GaAs/Si has twofold weight advantage to GaAs monolithic cell.

It was concluded that the development the development of MOCVD technologies should be ahead of GaAs solar cells.

### I. 서론

태양전지는 지금까지 저가의 실리콘계열의 태양전지가 지상용과 위성용을 막론하고 광범위하게 이용되어 오고 있으며, 현재까지도 경제성이나 신뢰성 면에서 지상용으로는 가장 적합한 것으로 여겨지고 있다. 그러나 위성용 전원으로 사용되는 태양전지의 경우는 지상용과 달리 태양전지가 높은 에너지의 방사선에 직접노출 되고 동시에 고온과 저온의 주기가 되풀이 되는 열 적 충격으로 인하여 실리콘 태양전지의 효율이 급격히 감소되는 심각한 문제점이 상존해왔다.

위성용의 경우 한번 방사된 방사체는 모든 전원을 태양전지에 의존하기 때문에 태양전지의 수명이 곧 위성체의 수명을 결정하며, 따라서 무엇보다도 먼저 긴 수명과 신뢰성이 가장 높은 비중을 차지하게 된다. 아울러 경제성을 높이기 위하여 단위면적당 발전량이 많고 무게가 가벼운 태양전지가 가장 바람직한 형태의 위성용 태양전지라 할 수 있다.

표 1에서 볼 수 있듯이 III-V족을 대표하는 GaAs계 태양전지는 기존의 실리콘계 태양전지에 비하여 방사선에 대한 저항력이 크고 높은 변환효율의 태양전지

를 얻을 수 있어서, 긴 수명과 아울러 단위면적당 출력을 높일 수 있다.

GaAs 태양전지는 첫째 변환 효율이 Si태양전지에 비하여 상대적으로 높고 (변환 효율 21-27%; 1Sun, AM 1.5), 둘째로 방사선 충격에도 강하여 보통 5년에서 최대 8년 가량의 수명을 보장할 수 있다. 그러나 GaAs는 물질 자체가 기계적인 충격에 약하고 단위출력당 무게가 무거워서 인공위성의 전원으로 사용하기에는 기술적, 경제적으로 많은 제약을 받고 있다.

Si를 기판으로 사용하는 GaAs/Si태양전지는 값이 싸고 가벼우며, 견고성은 뛰어나나 방사선에 대한 저항력이 GaAs기판보다 떨어지고 효율면에서도 많은 문제점을 가지고 있는 이종접합 태양전지이다. 그러나 Si 자체가 다른 기판보다 값이 싸고 넓은 면적의 태양전지를 만들기 쉽다는 편리한 장점이 있어서 인공위성의 전원으로보다는 지상용 전원으로 개발될 가능성이 높은 태양전지라고 할 수 있다.

본 논문에서는 MOCVD장치를 이용하여 GaAs/Si 태

양전지를 제작과정중 GaAs박막의 특성을 살펴보았다.

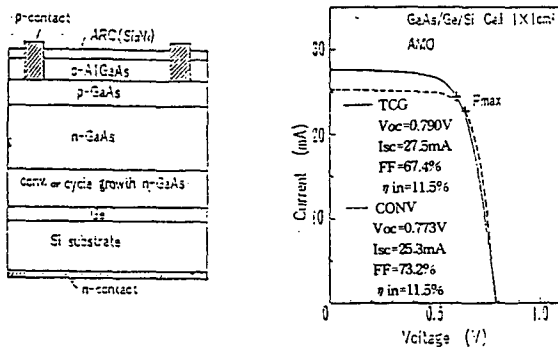
실리콘태양전지	화합물 반도체 태양전지	적층형태양전지
단결정 실리콘	III-V족: GaAs, InP GaAlAs, GaInAs등	화합물/IV족: GaAs/Ge GaAlAs/Si등
다결정 실리콘		
비정질 실리콘	II-VI: CdS, CdTe, CuInSe 2 등	화합물/화합물 : GaAs/InP GaAlAs/GaAs등

표 1. 재료분류에 따른 태양전지의 종류

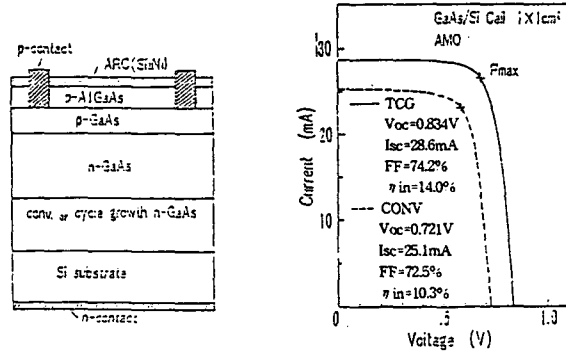
## II. GaAs/Si 태양전지 제작

### 1. GaAs/Si태양전지의 구조

GaAs/Si태양전지의 구조도 GaAs/Ge 태양전지나 GaAs/GaAs 단체형 태양전지와 유사하다. 그림 1에서 볼 수 있듯이 여러 가지 구조의 GaAs/Si태양전지와 전류-전압 특성을 생각할 수 있으며, GaAs박막과 Si기판 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 제 1세대 GaAs/Si전지는 모두 에미터(emitter)를 얇게 하여 소수 캐리어의 확산 거리를 줄이는 구조를 가지고 있다. GaAs/Si태양전지에 있어서 가장 심각한 문제는 첫째로, GaAs와 Si의 격자 상수 차이를 극복하는 것이며 둘째로는, GaAs와 Si 사이의 열확산 현상을 막는 일이다. 두 번째 문제는 GaAs와 Ge사이에 발생했던 것과 같은 문제로서 Ga와 As는 각각 Si기판에 확산되어 들어가고 동시에 Si는 GaAs박막층에 확산되어 들어간다. 이와 같은 현상을 막기 위한 완충층의 형성이 GaAs/Si 태양전지 설계와 제조에서 가장 중요하다고 말할 수 있다.



a)



b)

그림 1. 여러 가지 GaAs/Si태양전지의 구조와 전류-전압 특성

### 2. MOCVD를 이용한 GaAs박막층 형성

#### 2-1 장치설명

태양전지용으로 GaAs박막을 GaAs기판위에 형성시키는 방법을 크게 IMLPE ( Infinite melt liquid phase epitaxy )나 MOCVD(Metal organic chemical vapour deposition) 장치를 이용하게 된다. 그러나 IMLPE방식은 미세 두께의 GaAs박막을 얻을 수 없는 관계로 현재에는 주로 MOCVD방식을 이용하여 GaAs박막층을 성장시킨다. MOCVD장치는 크게 감압형 또는 상압형 두 가지로 분류되고 있으며, 본 실험에 사용된 MOCVD장치는 그림 2과 같이 상압형으로써 100%의 AsH<sub>3</sub>가스와 유기금속(organometal)인 TMGa를 사용하여 수소가스인 H<sub>2</sub> 분위기 하에서 열분해 방식으로 GaAs층을 형성시킨다. 이때 AsH<sub>3</sub>가스 분압을 H<sub>2</sub>가스에 반송된 Ga의 분압보다 최소한 20배 이상으로 유지시키고, 가열기로는 RF-Source를 사용하여 SiC가 코팅된 탄소판을 간접 가열시켰다. 반응기는 고순도 수정판을 사용한 수직형을 사용하였으며, 모든 연결부위는 VCR단자를 사용하여 10 - 8torr까지 누출 시험으로 확인하였다. 상압형 MOCVD는 그림 3과 같이 설계된 밸브를 통하여 모든 가스는 초기 상태에서는 외부로 배기되고 정상상태에 이른 다음에 반응기 안에 인입된다. 그리고 전체반응가스는 정상상태에 이르기 전에 수분 동안의 파괴기 상태를 거치게 된다.

불순물 주입(doping)을 위한 유기금속은 n-형 불순물(dopant)은 TMSn과 DETe, 그리고 p-형은 DEZn

을 사용하고, 불순물 농도를  $10^{17}$ - $10^{20}$   $\text{cm}^{-3}$ 범위안에 수용하기 위하여 그림 4와 같이 두 번 회석시키는 과정을 거친다. 이때 D1은 소용량의 MFC(mass flow controller)를 지나서 유기금속을 통과한 수소가스이고, D2는 D1보다 천배 이상 유량의 반응가스인 수소로써 불순물인 유기금속을 1차 회석시킨다. 그리고 D3 MFC를 통하여 반응기 안에 적정량의 불순물을 주입시키고 나머지를 외부로 방출시키게 된다. 이때 불순물 농도는 (식-1)과 같이 주어진다.

$$D_{eff} = D1 \times \frac{D3}{(D1 + D2)} \quad (1)$$

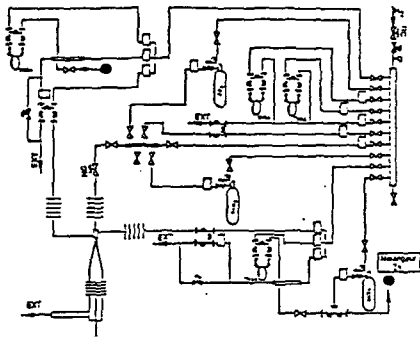


그림 2. 상압형 MOCVD장치 기본 개요도

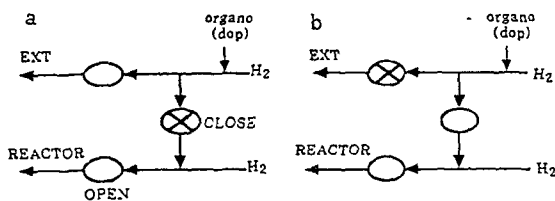


그림 3. 반응가스의 초기상태시 외부방출 밸브(a)와 정상상태시 반응기내 인입 밸브(b)개요도

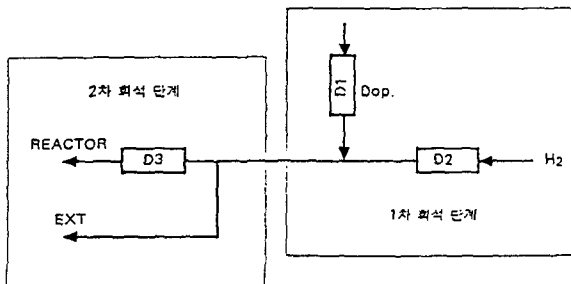


그림 4. 불순물(dopant)반응기내 인입을 위한 이중 회석 단계 개요도

## 2-2. GaAs기판 준비

시료인 GaAs기판을 세척하는 과정은 가장 주요한 단계로서, 박막성장시에 표면에 선택적으로 결함(defects)이 생성되는 것은 대부분 기판 상태와 밀접한 관계가 있다. 그리고 GaAs기판 세척은 다음 두 단계로 나뉘어진다.

첫째, Trichloro-ethylene, Acetone, Methanol, 증류수의 차례로 두 번 반복하여, 기판을 세척한다. 둘째,  $\text{NH}_3\text{OH}:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}$ 를 부피 비율로 2:1:10로 혼합시킨 용액으로 기판을 etching 한 후에 18M $\Omega$ 의 증류수로 세척한다.

본 실험에 사용된 기판은 일본의 SUMITOMO사의 HB 성장법으로 제조된 단결정 GaAs웨이퍼를 사용하였다.

## 2-3. GaAs박막층 형성

GaAs를 박막층을 성장시키는 과정에서 가장 먼저 불순물 종류에 따른 박막의 특성을 검토할 필요가 있다.

### o Sn Doping 효과

Sn의 원료로 TMSn(Tetra-methyl Stannum)을 이용하는 Sn불순물 주입은 먼저 온도를  $-50^\circ\text{C}$  정도로 유지시키면서 2차례의 회석과정을 거치게 된다. 이때 주입되는 Sn은 IV족 원소로서 III족인 Ga와 치환 반응하게 된다. 본 실험에서 Sn농도의 가변범위는  $10^{16}$  ~  $8 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 이고 가스의 분압에 따른 불순물 농도 변화는 그림 5와 같다. 그리고 Sn에 따른 특성은 다음과 같다.

- Sn의 확산계수(diffusion coefficient)는  $900^\circ\text{C}$ 에서  $10^{-13} \text{cm}^2 \text{s}^{-1}$ 이다.

- GaAs박막성장시 Sn의 주입온도는  $630$ - $765^\circ\text{C}$ 범위이다. 그리고 본 실험에서는  $720^\circ\text{C}$ 에서 그림 6처럼 성장한 시료를 통하여 chemical electronic profile을 통하여 각기 그림 7을 얻었다. 그리고 그림 7에서 볼 수 있듯이 불순물 농도가 서로 다른 두 박막층 사이에서 약간의 불순물의 확산이 존재함을 볼 수 있다.

- 일반적으로 박막 성장온도가 상승함에 따라서 Sn이 기여한 도너(donor)의 life-time은 향상된다. 그리고  $720^\circ\text{C}$ 에서 성장한 GaAs박막의 불순물농도가  $8 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 일 때 life-time은  $\tau = 15 \text{ns}$ 로 양호하였다.

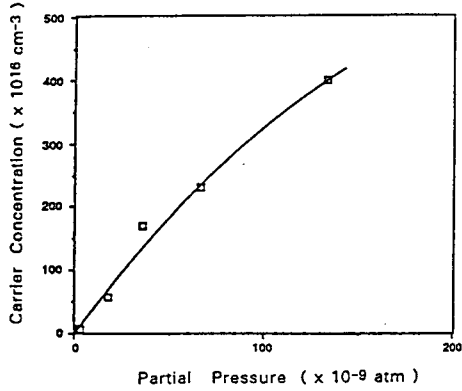


그림 5. GaAs 박막성장 온도 720°C에서 Sn분압에 따른 불순물 농도 변화

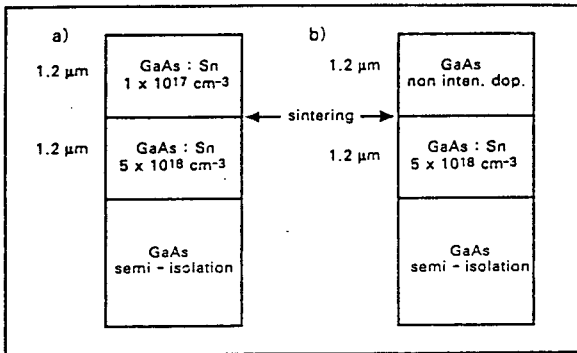


그림 6. Profile meter로 측정키 위하여 성장온도 720°C에서 성장시킨 GaAs 박막의 Sn불순물농도 변화에 따른 구조

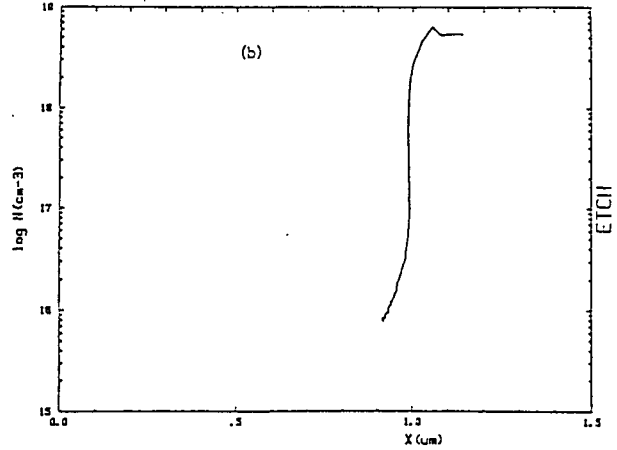
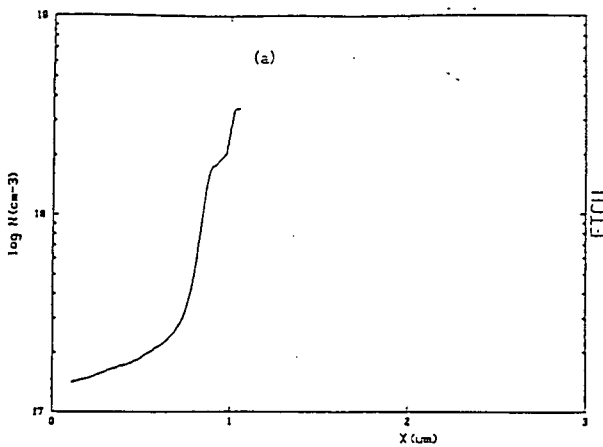
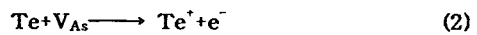


그림 7. Chemical electron profile 방식으로 GaAs 박막 두께의 다른 Sn불순물 농도 분포도 ; 그림 6 관련

○ Te Doping 효과

VI족인 Te는 같은 도우너인 Sn과 달리 As와 치환하게 된다. 즉 (식-2) 와 같이 주어진다. 그리고 Te 원료인 DETe(Di-ethyle Tellurium)은 직접가스상태로 존재하기 때문에 반응가스인 H<sub>2</sub>로 희석시켜서 사용하게 된다.



- GaAs박막성장 온도 700°C에서 Te분압에 따른 불순물 농도변화는 그림 8과 같다.
- 제반 성장조건을 동일시키고 성장온도의 변화에 따른 도우너의 life-time과 불순물 농도변화는 표 2와 같다.
- 본 실험에서 박막성장시 Te의 주입온도는 650~720°C범위가 적정한 것으로 나타났으며, 그림 9과 같은구조를 갖는 박막에 대한 chemical electronic profile에서는 그림 10과 같은 불순물농도 분포를 볼 수 있었다. 그리고 그림 10에서는 불순물 농도가 다른 두 박막층 사이에 확산현상이 거의 없는 것을 볼 수 있다.

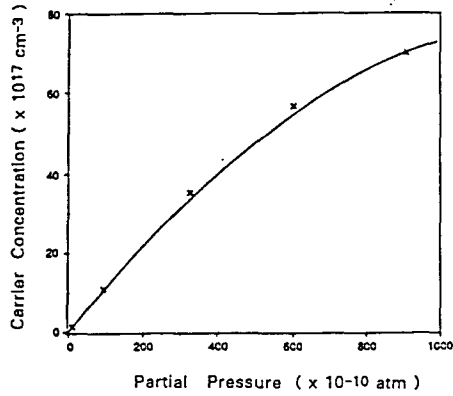


그림 8. GaAs 박막성장 온도 700°C에서 Te불순물 농도에 따른 불순물 농도 변화

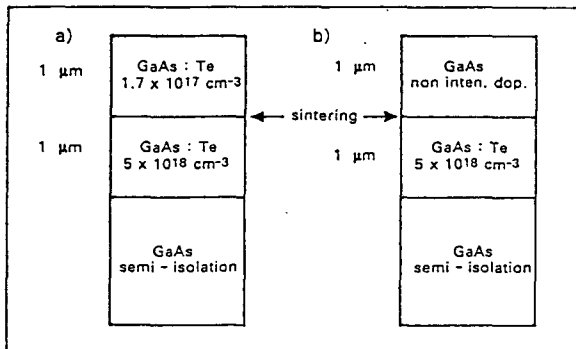


그림 9. Profile meter로 측정기 위하여 성장온도 700°C에서 성장시킨 GaAs 박막의 Te불순물 농도 변화에 따른 구조

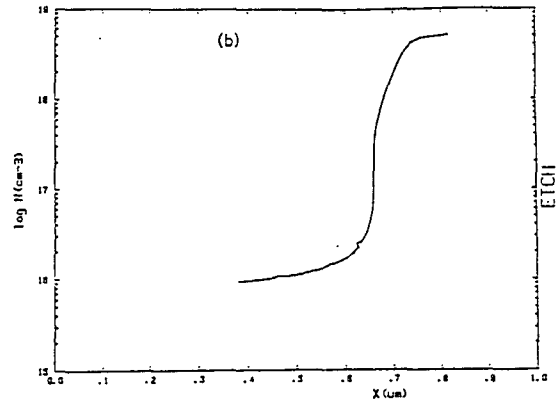
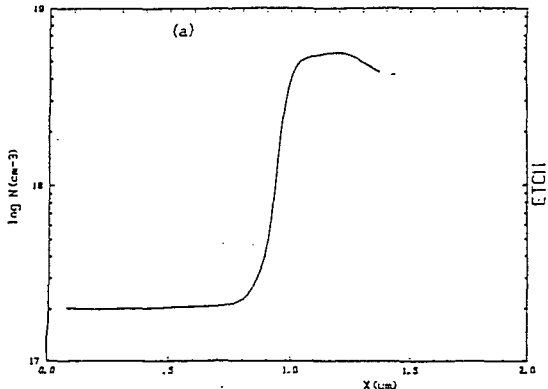


그림 10. Chemical electron profile 방식으로 GaAs 박막 두께의 따른 Te불순물 농도 분포도; <그림 9> 관련

시료번호	성장온도	ND-AN(cm <sup>-3</sup> )	τ (ns)
EDV-12	610	7 × 10 <sup>16</sup>	7 - 9
EDV-13	610	1.6 × 10 <sup>17</sup>	8 - 10
EDV-16	650	3.6 × 10 <sup>17</sup>	9 - 10
EDV-17	720	6.8 × 10 <sup>17</sup>	7 - 8
EDV-18	750	5.2 × 10 <sup>17</sup>	2 - 2.2
EDV-19	700	9.2 × 10 <sup>17</sup>	5 - 6

표 2. GaAs박막성장온도에 따른Te의 life-time변화

### III. 결론

고효율의 GaAs계열의 태양전지 제작에는 무엇보다도 GaAs박막 성장에 필요한 MOCVD장치가 가장 중요한 부분이라고 할수 있다. 즉 GaAs 태양전지를 구성하는 모든 박막층이 MOCVD에 성장조건에 의하여 좌우되기 때문이다. 특히 변환효율 20% 이상의 태양전지를 얻기 위해서 무엇보다도 박막성장시에 최적의 박막 성장을 위한 여러 가지 방법이 사용된다.

본 연구에서는 상압형으로써 100% AsH<sub>3</sub>가스와 유기금속 (organometal)인 TMGa를 사용하여 수소가스인 H<sub>2</sub> 분위기하에서 열분해방식으로 GaAs층을 형성시켰다. 이를 바탕으로하여 실리콘 기판위에 GaAs를 성장하여서 GaAs/Si Solar Cell를 제작하는 과정 중에 있다.

차후에는 Buffer layer 성장에 주력하여 그 조건을 최적함으로써 Si기판위에 GaAs박막이 정합될수 있도록 연구코려한다.

#### IV. 참고문헌

1. C.R. Huggins, T.A Cross and C.M Hardingham " Ultra Thin GaAs Solar Cell Using Germanium Substrates", 21nd IEEE PVSC Record, 1987, pp. 318-322
2. K-I Chang, Y.C M. Yeh, P.Ailes, J. Tracy and R.K Morris, "Hetero-structure GaAs/Ge Solar Cells", 19th IEEE PVSC Record, 1987, pp. 273-279
3. R.M. Patel, S.W. Gersten, D.R Perrachione, Y.C.M.Yeh, D.K. Wagner and R.K. Morris, "Lightweight GaAs/Ge Solar Cells", 20th IEEE PVSC, 1988, PP. 607 - 610
4. S.P. Tobin, S.M. Vernon, C. Bajgar, V.E. Haven, L.M. Geoggrey, and D.K. Lillington, "High Efficiency GaAs/Ge Monolithic Tandem Solar Cells", IEEE Trans. Electron Device Letters, Vol. 9, 1988, P. 256
5. Y.C.M.Yeh, K-I chang, C.H. Cheng, F.H. Ho and P.A. Iles "High Volume Production of Rugged, High Efficiency GaAs/Ge Solar Cells", Conf. Rec. 20th IEEE photovoltaic Specialists Conf., 1988, pp.451-456
6. P.A Iles, F.Ho, Y.C.M. Yeh, G.datrm and S.Billets, "Gallium Arsenide on Germanium Solar Cells", Proc. 24th IECEC, 1989,pp 791-797

본 연구는 1996년도 서울대반도체 연구소 지원에 의하여 수행되었으며, 이에 감사드립니다.