

技 術 解 說

# 태양전지와 그 이용기술

鄭 鎬 宣\*

目 次

- 1. 서 론
- 2. 기본이론
  - 2.1 광전효과
  - 2.2 전기적 특성
  - 2.3 전류에 영향을 미치는 Parameter
- 3. 전지의 제조방법
  - 3.1 제 료
  - 3.2 접합형태
  - 3.3 pn접합 실리콘 전지의 제조공정
- 4. 이용방법
  - 4.1 Concentration
  - 4.2 Energy storage
  - 4.3 Satellite solar power station
- 5. 결 론

## 1. 서 론

태양전지의 역사는 1839년 Becquerel이 전해액 속에 잠겨있는 AgCl과 백금전극 사이에서 광전효과(photo-voltaic effect)를 처음 발견하는 데서부터 시작 된다. 그 후 셀레니움(Se)과 Cu-Cu<sub>2</sub>O에서도 광전효과가 발견되었고 1954년에는 Chapin등에 의해서 최초로 변환효율 6%인 실리콘 태양전지가 만들어져, 1960년대부터 1,000여개의 인공위성에 전력원으로 이용되고 있으며 최근에 와서 대체에너지 개발의 필요성이 증가됨에 따라 여러가지 형태로 개발되고 있다. 현재 생산되고 있는 실리콘 태양전지의 효율은 지상용으로 13~14%이고 실험실에서는 15~16% 정도의 cell을 만들어내고 있다 대량 생산과 경제성이 있는 태양전지를 제작하기 위해서는 다음 사항들을 고려해야 한다.

- (i) 생산가는 200불/m<sup>2</sup>에서 0.5~3.5불/m<sup>2</sup>정도로 낮추어야 한다.
- (ii) 대량 생산을 위한 고도의 기술공정이 개발되어야 한다.
- (iii) 전지의 수명이 20년이상 되어야 한다.
- (iv) 변환효율은 이론적 한계에 있는 25%정도에 도달해야 한다.

첫번째와 두번째 항은 서로 관련이 있으며 현재와 같

은 연구 분위기와 많은 연구비가 투자된다면 10~15년 후에는 가능할 것으로 본다. 세번째 항은 어느 정도 가능한 문제로서 현재 인공위성에 사용되고 있는 전지들이 이 정도 수명에서 별로 성능이 떨어지지 않고 있으며 지상용으로는 대기중의 습기 sulfur-oxide nitrous oxide 먼지 및 바람등으로 부터 잘 보호해야 할 것이다.

네번째 항의 전지효율을 높이기 위해서는 ① BSF (back surface field) 전지를 제조하여 뒷 표면 전계효과를 갖도록 하거나 ② violet 전지를 제작하여 단파장에서의 광 특성을 개선하는 방법 또는 ③ 광 반사를 줄이기 위해 wafer표면을 texturization 및 AR (anti reflection) coating하는 방법 등이 개발되어 왔다.

필자는 이 글을 통하여 태양전지의 기본이론과 제조 방법 및 여러가지 응용을 소개하고자 한다.

## 2. 기본이론

### 2.1. 광전효과

광전효과란 금속-반도체 혹은 p-n접합에 빛이 입사할 경우 이 빛에 의한 electron-hole쌍이 생성되어 접합 양단에 기전력이 생기는 현상을 말한다. 그림 1의 왼쪽 그림은 이차원적인 격자구조를 보여주고 있으며 원은 원자를 표시하고 원과 원을 이어주고 있는 두선은 공유결합을 하고 있는 전자를 나타내고 있다. photon.

\* 慶北大 工大 電子工學科 教授 · 工博

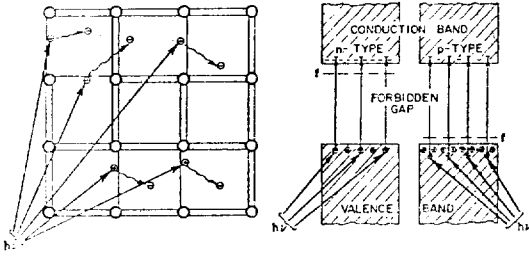
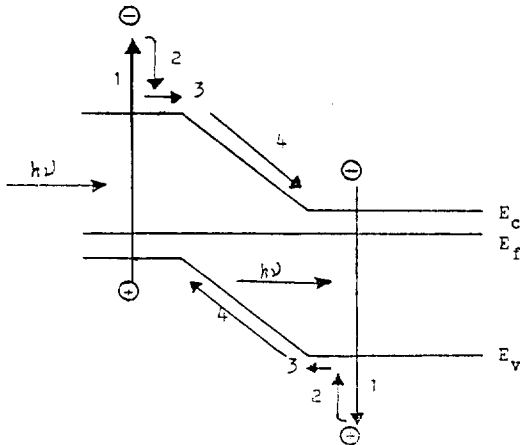


Fig. 1. Electron-hole production by photon



1. Generation of electron-hole pairs
2. Thermalization
3. Diffusion
4. Collection

Fig. 2. Energy diagram for a solar cell

의 에너지가 이들 결합에너지(실리콘인 경우 1.1eV)보다 큰 경우 electron-hole의 한 쌍이 생성되며 양자효율(quantum efficiency)은 100%라고 한다. 그림 1의 오른쪽 그림은 energy band model을 사용하여 이러한 현상을 설명해 주고 있다. n-type인 경우 전도대(Conduction band)에는 많은 전자(n)가 있는 반면 가전자대(valance band)에는 hole이 많지 않으므로 Fermi level은 전도대 근처에 있게 된다. 열평형 상태에서는 이들 전자와 hole의 곱 즉 np는 일정하다(실리콘인 경우 실온에서는  $\sim 10^{21}/\text{cm}^3$  정도이다) 예를 들어 다수캐리어  $n=10^{17}/\text{cm}^3$ 이면 소수캐리어  $p=10^4/\text{cm}^3$  정도이다. 이 반도체에 빛이 입사하여 electron과 hole의 쌍이  $10^{14}/\text{cm}^3$ 개 생겼다고 하면 소수캐리어는  $10^4/\text{cm}^3$ 에서  $10^{14}/\text{cm}^3$ 으로 증가하나 반면 다수캐리어의 증가는 무시될 정도이다. 즉 빛에 의해서 생성된 과잉 소수캐리어는 반도체내를 random하게 확산되다가 수십  $\mu\text{s}$  후에 재결합하고 만다. 그림 2와 같이 과잉 캐리어가 생

성된 n형 반도체와 p형 반도체가 결합하면 p-n접합에 전위장벽이 생긴다. 전위장벽에서부터 확산 거리내에 생성된 과잉 캐리어들은 thermalization diffusion과정을 거쳐 space charge영역의 강한 전계에 의하여 서로 다른쪽으로 collection 되어 전류가 흐르게 된다. 따라서 광 전류는 흡수된 photon의 수에 비례하게 되고 전압은 전위장벽에 비례하게 되며 energy gap보다 클 수는 없다.

2.2 전기적 특성

그림 3에서와 같이 전지 양단에 부하저항  $R_L$ 을 연결하면 부하 양단으로부터 광 기전력을 얻을 수 있다. 전지 표면에 입사하는 입사광중 일부는 표면에서 반사하며 표면을 투과한 빛은 전지내에서 흡수되어 거리에 대해 지수함수적으로 감소하게 된다. 빛이 입사할 때 태양전지의 등가회로는 그림 4와 같이 나타낼 수 있으며  $I_{ph}$ 는 광전류  $I_d$ 는 암전류 즉 일반 다이오드의 전류이며 이들은 서로 반대 방향으로 흐르고 있다. 따라서 가능한 한  $I_{ph}$ 는 키야되고  $I_d$ 는 적어야 된다.  $R_s$ 와  $R_{sh}$ 는 각각 전지내의 직렬저항과 병렬저항을 나타낸다 그림 5는 태양전지의 전압전류의 특성곡선을 나타내며 전체 전류는 아래 식으로 표시된다.

$$I = I_d - I_{ph}, \text{ 단 } I_d = I_0 \left\{ \exp\left(\frac{qV}{\eta KT}\right) - 1 \right\}$$

여기서 태양전지에서 중요한 parameter인 개방전압

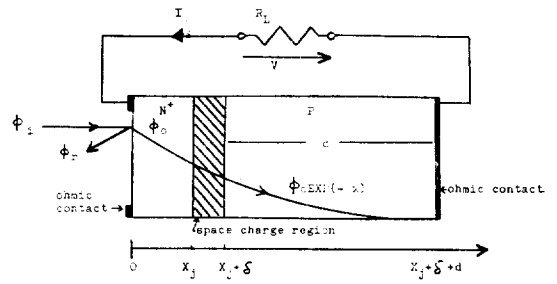


Fig. 3. Configuration of a solar cell under illumination

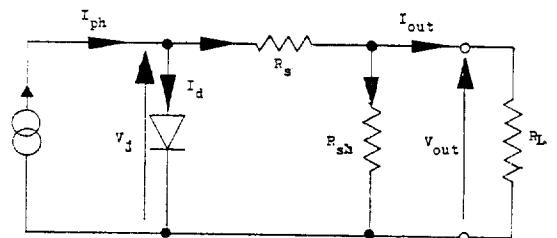


Fig. 4. Simple equivalent circuit of a solar cell

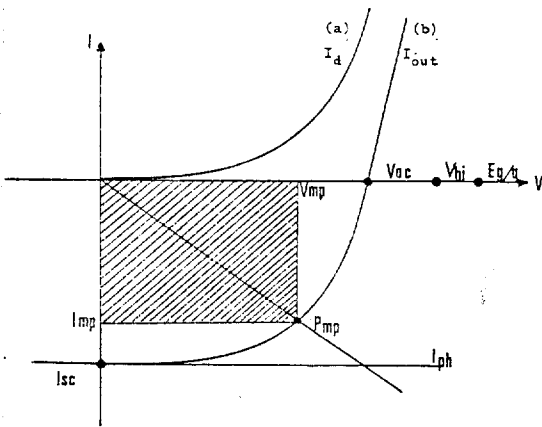


Fig. 5. Solar cell I-V characteristic

( $V_{oc}$ ), 단락전류( $I_{sc}$ ), fill factor(FF)를 정의할 수 있다. 개방전압( $V_{oc}$ )은 전류  $I=0$ 인때의 전압으로써 다음식으로 표시된다.

$$V_{oc} = \eta \frac{KT}{q} \ln\left(\frac{I_{ph}}{I_0} + 1\right)$$

단락전류  $I_{sc}$ 는 전압  $V=0$ 인 경우 즉

$$I_{sc} = I(V=0) \approx I_{ph}$$

태양전지로부터 얻을 수 있는 최대전력  $P_{mp} = V_{mp} \times I_{mp}$ 가 되고 fill factor는 다음과 같이 정의된다.

$$FF = \frac{I_{mp} \times V_{mp}}{I_{sc} \times V_{oc}}$$

전지의 효율  $\eta$ 는  $P_{mp}$ 를 전지에 입사하는 빛을 power로 환산하여 나눈 값으로 정의한다. 즉  $\eta$ 는

$$\eta = \frac{V_{oc} \times I_{sc} \times FF}{P_{in}}$$

### 2.3 전류에 영향을 미치는 Parameter

a) 태양 spectrum

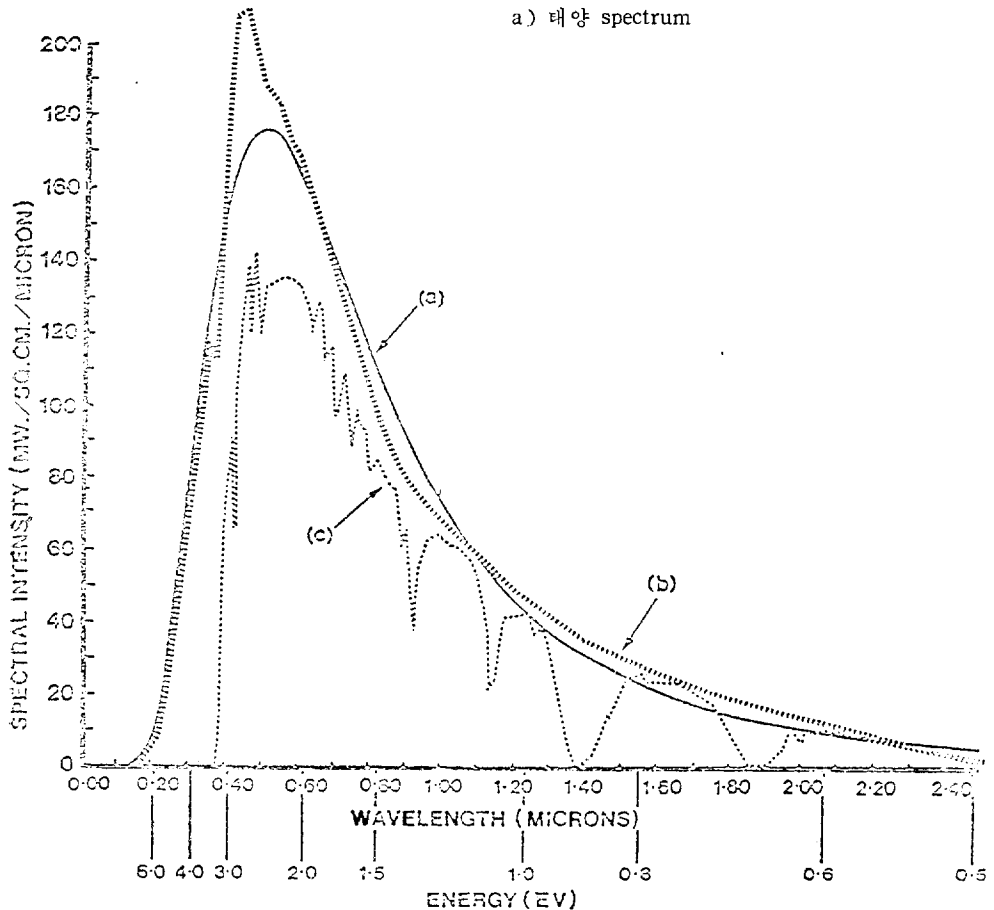


Fig. 6. Spectral energy distribution as a function of wavelength for various energy sources

- a) Black-body radiation at  $T=5760K$  ( $134.9mW/cm^2$ )
- b) Direct solar radiation above earth's atmosphere (AMO,  $135.3mW/cm^2$ )
- c) Direct solar radiation on earth's surface with sun vertically overhead on a clear day (AM1,  $87.2mW/cm^2$ )

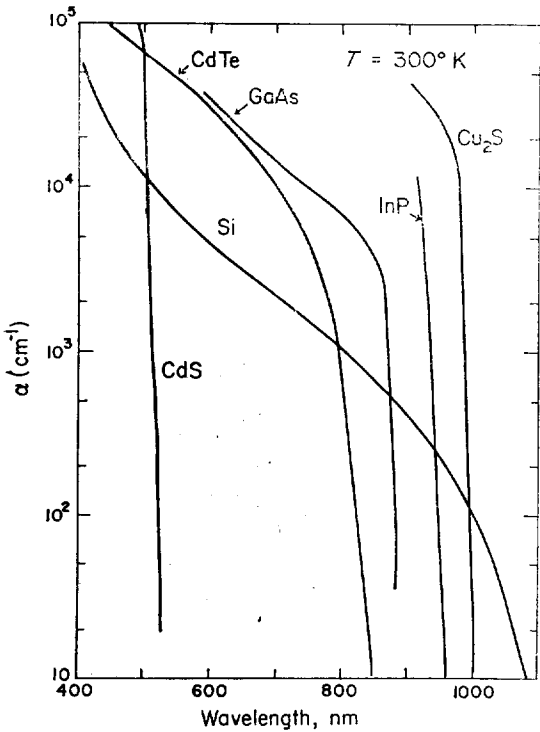


Fig. 7. Absorption spectra of various photovoltaic material

전지에 입사하는 입사광의 power는 입사광의 파장은 물론 입사각 및 기상조건에 따라 그림 6과 같이 AM (air mass)으로 나타내며 대기권 밖에서는 AM0(135.3mW/cm<sup>2</sup>)로 지구상에서 최적의 기상조건으로 태양이 zenith에 있을때는 AM1(100mW/cm<sup>2</sup>)으로 표시한다.

#### b) 흡수계수

그림 7은 실리콘 및 그의 광전 반도체의 흡수계수들을 보여주고 있으며 평균 흡수거리는  $\bar{x} = \frac{1}{\alpha}$ 로 정의되므로 단파장의 photon은 전지의 면에서 흡수되고 반면 장파장의 photon은 전지 깊숙이 들어가서 흡수된다.

#### c) 흡수된 photon

##### ① 표면에서의 반사

실리콘에서 입사광의 파장이 1.1 $\mu$ m, 0.4 $\mu$ m인 경우 각각 입사광의 34%, 54%가 반사한다. 광 반사를 줄이기 위하여 SiO<sub>2</sub>, SiO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub> 및 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>와 같은 물질로 전지표면에 광반사막을 입힌다.

##### ② 선택흡수

반도체의 energy gap보다 큰 에너지를 갖는 photon만이 태양전지에 흡수된다. 따라서 그림7과 같이 band gap에 해당하는 파장 근처에서의 흡수계수가 급격히 감소하는 이 때문이다. 어떤 장파장의 빛은 전자와

hole의 쌍을 생성시키지 못하고 통과해 버리는 것도 있다.

#### ③ energy gap보다 큰 energy photon

흡수된 photon중에서 energy gap보다 큰 energy( $h\nu - E_g$ )를 갖는 photon은 전자와 hole의 쌍을 생성시키고 여분의 energy를 운동에너지 형태로 전자에 준다. 이 전자는 원자와 충돌하여 파인 에너지는 열로써 변하게 되며 그 결과 전자의 온도가 상승하게 된다.

#### d) 소수캐리어 수명

격자결합에는 도우핑시 주입되는 고 농도의 불순물 확산에 의한 것과 불순물 확산시 기타 금속의 이차적 침투에 의한 것이 있다. 격자결합으로 인한 재결합 중심 밀도의 증가는 그 영역의 소수캐리어의 수명을 줄이기 때문에 광 전류는 줄어들고 암전류는 증가하게 된다. 실험에 의하면 캐리어 수명은 도우핑 농도에 따라 비선형적으로 감소하게 된다.

#### e) 캐리어 이동도

도우핑 농도가 낮을 수록 캐리어 이동도가 크고 따라서 확산거리도 길어지게 되나, 벌크저항에 의하여 직렬저항이 증가하게 된다. 따라서 기판의 도우핑 농도는 적당한 선택이 필요하게 된다.

#### f) 집합 깊이와 전지의 두께

그림 6에서 보인 바와 같이 태양광의 분광분포는 대부분 4000Å~6000Å의 영역에 있다. 이와 같이 단파장 쪽의 수집효율을 개선하기 위하여 emitter에 높은 도우핑 농도를 가진 매우 얇은 집합 깊이를 가진 구조나 혹은 집합 깊이를 깊게하는 대신 emitter영역에 매우 낮은 도우핑 농도를 갖도록 한다. 전지의 두께는 에미터 영역과 베이스 영역의 두께를 합한 것이 되며 에미터 영역의 두께는 집합 깊이이므로 0.3~2 $\mu$ m정도이고 베이스 영역의 두께는 소수캐리어의 확산거리 즉 100 $\mu$ m정도가 되면 이상적이다. 그러나 이와 같이 얇은 기판으로 전지를 만들 경우 전지의 재료비는 절감할 수 있으나 공정 도중에 파손되기 쉬우므로 200~300 $\mu$ m 정도의 wafer를 사용하고 있다. 효율에 영향을 미치는 factor로서 위의 항들 중에서 a, b, c항은 주로 광 전류에만 영향을 주고 d, e, f항은 광 전류 및 암 전류에 영향을 준다.

그림 8은 실리콘 태양전지에 대한 여러가지 에너지 손실에 관하여 분석한 결과이다. 태양전지의 77%만이 전지에 흡수되고 흡수된 photon energy중에서 43%는 열로 변환해 버린다. 따라서 마지막으로 얻을 수 있는 변환효율은 14%정도이다. 그러나 voltage factor, fill factor 및 collection efficiency는 공정상에서의 문제로써 변환효율은 좀 더 증가될 수 있다.

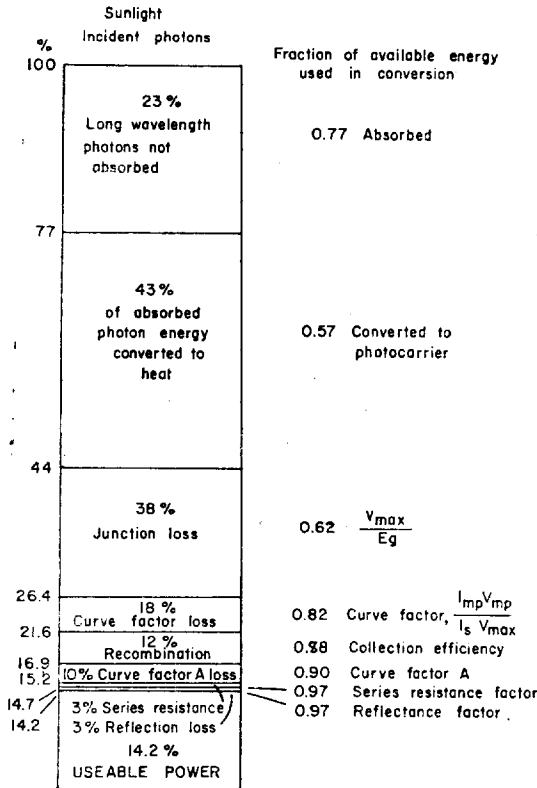


Fig. 8. Photovoltaic conversion factors in silicon cells

### 3. 전지의 제조방법

#### 3.1 재료

그림 9에는 반도체의 energy gap에 대한 태양전지의 변환효율이 계산되어 있으며, energy gap에 해당되는 반도체들의 온도에 대한 영향도 나타나 있다. 실리콘은 지구상에서 SiO<sub>2</sub>형태로, 산소다음으로 많이 존재하며 정제기술이 발달되어 태양전지에서도 가장 많이 이용되고 있다. CdS는 direct band gap물질로서 전도대와 가전자대의 상태밀도가 높다. 따라서 band gap (2.4eV)보다 조금만 커도 흡수계수는 매우 크게되고 활성영역은 수  $\mu$ m이내에 있게된다. GaAs, InP, AlSb 및 CdTe는 Si와 CdS보다 이론적으로는 변환효율이 높고, 높은 온도에서도 안정성이 좋은 반면 재료비가 비싸고 불순물의 문제 및 결정성장 방법이 어려운 단점이 있다. InP 및 CdTe를 이용한 전지의 효율은 8%로 보고되었고 변환효율이 16%인 Ga-In-As 전지도 만들어졌으나 cell제작이 매우 어렵고 더우기 제조비는 Si보다 10~100배나 비싸다. 반도체 성질을 갖는 organic

재료로 cell을 제작하면 값이 싸고 schottky 접합전지로서 max은 0.5~1V정도가 되나 전류가 매우 적어 변환효율은 0.01~0.001%정도 밖에 되지 않는다.

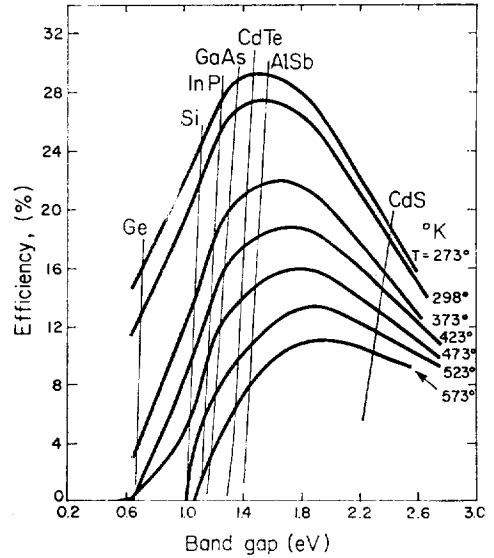


Fig. 9. Maximum theoretical efficiency of photovoltaic convertes as a function of band gap energy

#### 3.2 접합 형태

대부분의 태양전지는 p-n접합형이나 schottky접합, heterojunction vertical multijunction 및 grating형이 있다. schottky 접합은 제작하기가 매우 간단하고 경제적이며 단파장에 대한 양자효율은 좋지만, 개방전압이 낮아 효율이 낮은 단점이 있다. heterojunction형 전지도 단파장에 대한 양자효율이 개선되어 거의 p-n 접합전지와 비슷한 효율을 얻을 수 있다. 특히 diffusion과 같은 고온 과정을 거치지 않으므로 값이 싸게 견지를 제작할 수 있고, 다결정재료에 알맞는 접합 방식이다. vertical multijunction형은 효율이 높고 방사능에 대한 영향이 적으며 concentration system에도 적당하다. 또 grating cell은 단락전류가 크고 개방전압이 높으나 안정성이 적은 결점이 있다.

#### 3.3 pn접합 실리콘 전지의 제조공정

태양전지 제조에 가장 많이 사용되고 있는 실리콘을 예로들어 n<sup>+</sup>-p/p<sup>+</sup>의 제조공정을 간단히 설명하고자 한다. 실리콘 기판의 불순물농도는 10<sup>15</sup>~10<sup>16</sup>/cm<sup>3</sup>, 비저항은 1~10 $\Omega$ -cm, 결정방위는 (100)인 p형 기판을 사용한다.

a) 초기세척

초기세척은 전지 제조공정 중에서 제일 먼저 거치는 단계로 초기세척이 잘못되었을 경우 그 후의 공정을 거친 후에도 좋은 결과를 기대할 수 없으므로 매우 중요한 단계이다. 우선 TCE(trichloroethylene)아세톤에 각각 5분정도 초음파 세척하고 D.I. Water를 흘린후 HF : H<sub>2</sub>O=1 : 10 용액에 담겨 표면에 걸러진 산화막을 제거한다. 다시 D.I. Water로 세척하고 질소 gas로 불어 웨이퍼에 묻은 물기를 제거한다.

#### b) 뒷면의 p<sup>+</sup>를 위한 Boron 확산

웨이퍼 앞면에 보론이 침투하지 않도록 하기 위하여 우선 앞 뒷면에 5000Å 정도의 산화막을 성장시킨다. PR(photoresist)를 사용하여 웨이퍼 앞면의 산화막을 보호하고 NH<sub>4</sub>F : HF=7 : 1 용액에서 뒷면의 산화막을 없애고 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> : H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>=4 : 1 용액으로 PR을 제거한다. 뒷면의 보론 확산 공정은 BN(boron nitride)웨이퍼를 Si웨이퍼와 마주 보도록 놓고 furnace내의 온도를 940°C와 1145°C로 유지하면서 산소를 흘려 deposition과 drive-in 시킨다. 이때 뒷면의 p<sup>+</sup>층의 깊이는 5~7μm 정도가 된다.

#### c) 앞면의 n<sup>+</sup>를 위한 phosphorus의 확산

뒷면에 phosphorus가 확산되지 않도록 뒷면을 산화막으로 보호하고 앞면의 산화막을 제거한 후 phosphorus를 확산시킨다. phosphorus를 확산시키기 위하여 furnace 온도를 약 900°C로 하고 N<sub>2</sub>+O<sub>2</sub>+POCl<sub>3</sub>를 흘려 준 후 phosphorus glass를 제거한 다음 drive-in 공정을 해준다. 이때 n<sup>+</sup> 접합깊이는 0.3~1μm정도로 해준다.

#### d) 앞 뒷면의 전극증착

n<sup>+</sup>-p/p<sup>+</sup>가 형성된 웨이퍼에 금속증착을 하기 위하여 양면의 산화막을 제거한다. 금속으로는 Al, Cr, Au 또는 Ag, Pd, Ti와 같은 삼중전극을 진공증착기를 이용하여 증착시킨다. 금속증착을 한후 grid pattern을 이용하여 grid pattern에 해당된 곳의 금속만 남기고 다른부분의 금속은 사진식각 방법으로 제거한다.

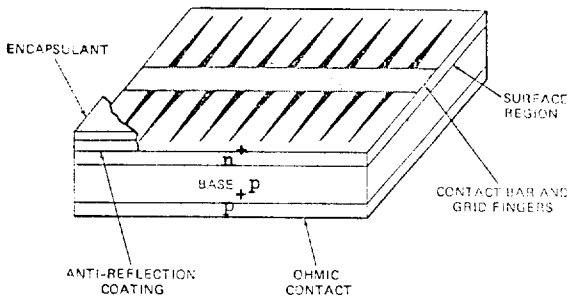


Fig. 10. Typical solar cell

#### e) 광반사 방지막 coating

실리콘은 광반사가 크므로 경제면의 표면반사를 줄여주고 6000Å 파장영역의 선택성을 증가시키기 위하여 SiO<sub>2</sub> 또는 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>와 같은 광반사 방지막을 입힌다.

SiO<sub>2</sub>막은 cell제조공정 과정에서 처럼 쉽게 얻을 수 있으며 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>막은 SiH<sub>4</sub>, NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>, gas를 흘려 deposition시켜서 얻는다. 그림 10은 제조공정이 끝난 n<sup>+</sup>-p/p<sup>+</sup>전지이며 뒷면의 grid pattern의 면적은 전지면적의 8~10% 정도이다.

### 4. 이용방법

태양전지는 설치가 간단하고 동작에 있어서 신뢰성이 있고 공해가 없으며 보수가 별로 필요치 않아 표 1에 보인 바와 같이 다방면에 이용되고 있다. 보통 태양전지의 출력전압은 0.5~1V, 전류는 20~40mA/cm<sup>2</sup>이며 이 전지를 직렬 또는 병렬로 연결하여 한 module을 구성하고 또 이 module을 서로 조합하여 array를 만들면 이론적으로 수천 megawatt정도의 전력을 얻을 수 있다.

Table 1. Examples of present terrestrial applications of photovoltaic power units

Power Supply Application	Peak Rating, W
<b>Warning lights:</b>	
airport light beacon	39
marine light beacon	90
railroad signals	
highway barrier flashers	1.2
tall structure beacon	
lighthouse	
<b>Communications systems:</b>	
remote repeater station for	
--microwaves	50
--radio	109
--TV	78
remote communications station	3,500
mobile telephone communication station	2,400
portable radio	50
emergency locator transmitter	
<b>Water systems:</b>	
pumps in desert regions	400
water purification	10,800
<b>Scientific instrumentation:</b>	
telemetry--collection and transmission	
platforms for environmental, geological	
hydrological and seismic data	
anemometer	100
remote pollution detectors--H <sub>2</sub> S	
--noise	3

**Industrial:**

remote machinery and processes, e.g.,  
 copper electrolysis installatiou 1,500  
 cathodic protection of underground pipeline 30  
 electric fence charger 30  
 domestic water meter 20  
 off-shore drilling platforms  
 forest fire lookout posts

**Battery charging:**

boats, mobile homes and campers, golf carts 6-12  
 construction site equipment  
 Ni-Cd-powered military equipment 74

**Recreational and educational:**

educational TV 35  
 vacation home 35  
 —lighting, TV  
 —refrigerators 200

**sailboats**

—lighting, ship-shore commuination  
 —automatic pilot 66

portable TV camera

camping lighting  
 electronic watches, calculators  
 recreationl center sanitary facility 168

**Security systems:**

closed circuit TV surveillance 150  
 intrusion alarms 6

태양전지의 이론적인 최대효율은 약 25%정도이며 지상에서 집광장치를 이용하지 않은 경우 일사강도를  $1kW/m^2$ 이라 하면 전지의 module면적  $1m^2$ 당 250W의 전력을 얻을 수 있다. 만약 주택의 지붕면적이 약 80  $m^2$ 인 경우 20kW 정도의 전력을 얻을 수 있으며 2,500 MW의 전력을 얻으려면 약 10 $km^2$ 의 면적이 필요하게 된다. 또한 우주공간에 pannel을 만들어 대전력을 얻을 수 있으며 그 비용은 약 10,000/ $m^2$ 정도이고 전력으로 환산하면 70불/W 정도이다.

**4.1 Concentration**

값싼 전력을 얻기위한 한 방법으로서 태양광을 집광시키는 장치를 이용하면 단위면적당 더 많은 전력을 얻을 수 있다. 실온에서 태양광의 세기를 어느 정도 증가시키면 전압은 약간 증가하나 전류는 거의 선형적으로 증가한다. 이 경우 cell의 직렬저항에 의한 전력손실은 전류의 제곱에 비례하므로 직렬저항은 아주 적어야 하고 저항성접촉이 좋아야 한다. 집광 시, 문제가 되는 것은 그림 9에서 보인 바와 같이 전지의 온도가 상승함에 따라 효율이 낮아지므로 전지를 냉각시켜야 한다는 것이다. 그림 11은 집광장치의 한 예이며



**Fig. 11.** Photovoltaic concentrator arrays

전체 구조는 태양전지 집광장치 태양추적장치 및 냉각장치로 구성되어 있다.

집광장치를 이용한 경우는 하지않을 때 보다 전력단가를 약 1/8로 줄일 수 있다.

**4.2 Energy Strage**

낮 동안 태양전지의 pannel로부터 얻는 과잉전기는 밤에 이용할 수 있도록 저장되어야 한다. 그방법중 소규모로는 lead-acid 배터리에 저장할 수 있으며 대규모로는 물을 전기분해하여 수소를 생산해서 열로 이용하거나 산소와 결합시켜 다시 전기를 얻을 수 있는 방법이 있다. 또 전기를 이용하여 물을 높은 곳으로 pumping시킨후 다시 물을 이용하여 터빈을 돌리는 방법도 있으며 여러 가지 형태의 전기저장법들을 표 2에서 보여주고 있다.

**a) Battery**

배터리를 이용한 저장법은 저장법이 쉽고 설치가 간단하며 lead-acid 배터리인 경우 설치비는 100불/kW이고 수명은 5~7년이다. 지금까지 사용하고 있는 것과 미래에 사용될 배터리를 표 3에서 비교하였다.

sodium-sulfur와 lithium-suffer 배터리는 300~400°C에서 동작하므로 재료 문제 또는 energy 손실 등이 문제가 되고 반면 metal-air 배터리는 재료비는 싸지만 많은 연구가 필요하다.

**b) pumped hydro방법**

현재 대규모 에너지 저장에 이용되고 있는 유일한 방법으로 미국에서는 10,000MW 규모의 시설도 있다. 이 방법은 도심지와 같은 곳에서는 설치 장소가 문제시 된다.

**c) 전기분해법**

물을 전기분해하여 수소와 산소를 얻는 경우 효율은 90~95%이고 다시 수소와 산소로 전기를 얻는 경우 효율은 60~80%가 되어 전체효율은 65% 정도이다.

Table 2. Summary of electricity storage schemes

Method	Conversion	Storage Medium	Reconversion	Eleco. Output	Conv. Efficiency	Point of Use	Location: Dispersed	Central
Battery	electrochemical	battery	—	dc	70-80	×	×	×
Pumped-hydro	ac <sup>a</sup> →pump	water	electromechanical (turbine)	ac	70-75			×
Compressed air	ac <sup>a</sup> →compressor	compressed air	expand+heat→electromechanical (gas turbine)	ac	65-75			×
Hydrogen	photoelectrolysis→gas	H <sub>2</sub> gas H <sub>2</sub> liquid H <sub>2</sub> slush metal hydride	gas → fuel cell	dc	35-50	×	×	×
	electrolysis→gas							
Flywheel	ac <sup>a</sup> →motor	flywheel inertia	electromechanical (motor-generator)	ac	70-80		×	
Superconducting magnet	electromagnetic	superconducting magnet	—	dc	90-95			×

<sup>a</sup>Only necessary if dc machinery cannot be used.

Table 3. Storage battery data

Battery Type	Energy Density <sup>(a)</sup> Wh·kg <sup>-1</sup>	Life Cycles <sup>(b)</sup>	Cost \$/kWh
Silver-Zinc	100-120	100-300	900
Nickel-Cadmium	33-40	300-2000	600
Nickel-Iron	22-33	3000	400
Lead-Acid <sup>(c)</sup>	11-22	1500-2000	50
Nickel-Zinc <sup>(d)</sup>	66-88	250-350	20-25
Zinc-Chlorine <sup>(d)</sup>	66	500	10-20
Sodium-Sulfur <sup>(d)</sup>	170-220	1000	15-20
Lithium-Sulfur <sup>(d)</sup>	130-170	1000	15-20
Zinc-Oxygen <sup>(d)</sup>	160	?	?
Aluminum-Air <sup>(d)</sup>	240	?	?

(a) Values shown are for 1 hr and 6 hr rate of discharge respectively.

(b) Range shown is from severe to modest duty.

(c) Typical automotive battery.

(d) Projected figures-batteries still at experimental stage.

이 full cell은 lead-acid배터리보다 energy density가 큰 반면 설치비가 두배 정도 비싸고 수명도 짧고 백급과 같은 catalytic재료를 써야하는 문제가 있다. 그러나 대규모로 에너지를 저장할 수 있어 현재 미국에서는 25MW정도의 규모도 있다.

#### d) Superconducting magnet 방법

냉각된 초전도 재료에 대단히 큰 전류가 흐를 수 있으며 superconducting magnet는 태양전지 처럼 대 전류 저전압 DC 장치이므로 태양에너지를 저장하는데 아주 알맞는 방법이라 할 수 있다. 변환효율은 지금까지 방법 중에서 제일 높으며 반면 냉각문제를 고려해

야 하므로 100~10,000MWh정도의 규모야 경제성이 있다. 그러나 앞으로 4°K에서 전기적 절연문제, 4~300°K 온도범위에서 재료성질 100,000A정도의 전기적 연결방법 및 대단히 큰 자장에 대한 문제에 대해서 보다 많은 연구가 있어야 할 것이다.

#### 4.3 Satellite Solar Power Station

대기권 밖에 태양전지 pannel을 설치하고자 하는 계획이 1968년 A.D. Little Co.에 의해서 제안되었다. 지상으로부터 35,800km 상공에 그림 12와 같은 규모의 power station을 건설하면 5,000MW의 전력을 얻을 수 있다. 발전된 DC를 마이크로 웨이브로 변환하-



설비시설에 있어서 단위전력 당 무게의 비는 3.6kg/kW정도나 되나 columbia우주왕복선의 성공으로 별문제는 없으리라 본다.

### 5. 결 론

이제 태양전지는 연구의 단계에서 벗어나 실질적인 대체에너지 개발에 중요한 위치를 차지하게 되었다. 그 동안의 반도체특성에 대한 연구와 제조기술의 발달로 변환효율이 높고 신뢰성이 향상된 태양전지들이 생산되어 나도의 전원공급 군통신의 전원 및 어린이 강난감에 이르기 까지 응용의 범위가 넓어지고 있다는것은 매우 고무적인 현상이다. 그러나 일반전력과 그 생산가를 비교해 본때 100~500배 정도 생산가를 줄여야 하는 문제가 있으므로 다결정질 또는 비정질 실리콘등과 같은 값싼 재료로 고효율 태양전지를 개발해야만 할 것이다. 1986년에는 peak watt당 약 5불 2000년경에는 0.1~0.3불 정도로 생산가가 저하될 것으로 예견되므로 인한 인류의 장래는 결코 어둡지않은 밝은 것이다.

### 参 考 文 献

- [1] Paul Rappaport; "The photovoltaic effect and its utilization", RCA Rev., vol. 20, pp.373~397, Sept., 1959.
- [2] H.J. Hovel; "Semiconductors and semimetals, vol. 11 solar cells", Academic Press, 1975.
- [3] David L. Pulfrey; "Photovoltaic Power Generation", Van Nostrand Reinhold Co., 1978.
- [4] Joseph A. Merrigan;; "Sunlight to electricity", The MIT Press, 1975.
- [5] Ho-Sun Chung; "Contribution à l'etude des cellules solaires au silicium polycristallin" Thèse de Docteur Ingenieur, 1980.
- [6] Charles F. Backus; "Solar cells", IEEE Press, 1976.
- [7] Photovoltaic Solar Energy Conference, Toulouse, France, 1976.
- [8] Photovoltaic Solar Energy Conference, Luxembourg, (1977)
- [9] Photovoltaic Solar Energy Conference, Cannes, France, 1980.

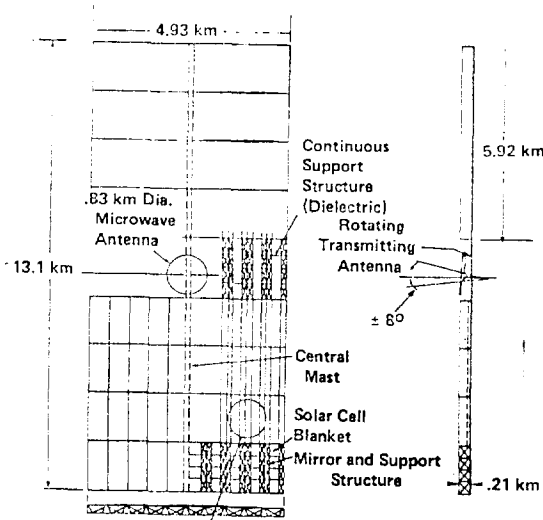
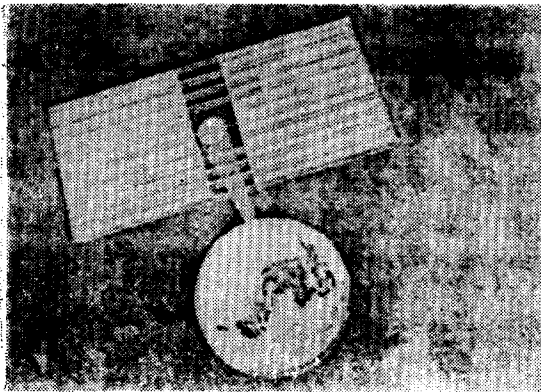


Fig. 12. Concept of satellite solar power station

여 지상으로 보내고 지상에서는 이 마이크로 웨이브를 다시 DC로 바꾼다. 마이크로 웨이브 주파수는 대기권에서 흡수가 적은 3GHz로 하고 송신 안테나의 직경은 1km, GaAs schottky diode를 포함한 수신 안테나의 array 직경을 10km로 설계할 경우 전체 DC-DC 변환 효율은 70%정도이다.

대기권 밖에서 전지의 효율이 18%라면 지상에서는 12%의 전지와 같게 된다. 그러나 대기권 밖에서는 이용할 수 있는 태양에너지가 지상에서보다 4~11배정도 많고 또한 밤낮없이 발전할 수 있다. 태양전지 위성의