

# 低價格 太陽電池 開發을 위한 研究 動向

— 박막형 CdS/CdTe 태양전지  
(All-Thin-Film CdS/CdTe Solar Cells)

任 縞 彬

(韓國科學技術院 教授)

## 차례

1. 서론
2. 태양전지의 作動原理
3. 박막형 CdS/CdTe 태양전지의 製造方法.
  - 3.1 高效率 소결체 CdS/CdTe 태양전지의 제조방법
  - 3.2 CdS 소결막의 제조
  - 3.3 CdTe막의 소결 및 Pn접합 형성
  - 3.4 CdS막의 두께에 따른 CdS/CdTe 소결체 태양전지의 특성 변화
4. 결론  
참고문헌

## 1. 서론

1970년대 油類波動 이후 화석연료를 대체할 수 있는 에너지 개발의 필요성을 심각하게 느끼게 되었으며, 환경 오염이 적은 대체에너지로서 태양의 光에너지를 직접 電氣에너지로 변환시킬 수 있는 태양전지의 개발에 관한 연구도 많은 진전을 보게 되었다.

최초의 태양전지는 宇宙船의 동력원으로 사용하기 위해 silicon 단결정으로 제조된 것으로, 1956년 당시 peak watt(Wp)당 제조단가는 350 \$였으나, 30년간의 기술개발에 의해 1986년 현재 단결정 silicon 태양전지의 가격은 5 \$/Wp 수준까지 낮아졌다.

태양전지를 地上의 동력원으로 實用化하기 위해서는 생산비를 더욱 낮추어야 하는데, 그 저가격화의 방안은 크게 두가지로 나눌 수 있다. 하나는 단결정 태양전지를 고효율로 제작하고, 集光장치를 사용하여 최대한의 出力을 얻어내는 것이고, 다른 한가지는 비정질이나 다결정 박막형 태양전지를 대면적으로 제조하여 전지자체의 생산가를 낮추는 것이다. 후자의 경우 실용화를 위한 목표효율은 10%로 설정하고 있다. 즉 10%의 태양에너지를 전기에너지로 변환시킬 수 있는 태양전지의 개발이 목표이다.

지금까지 단결정을 포함한 어떤 형태로든 태양전지의 광흡수층(빛을 흡수하여 전자-정공쌍을 生成시키는 층)으로 사용되어 10%이상의 효율을 나타낸 재료로는 Si, GaAs, InP, CuInSe<sub>2</sub>, Cu<sub>2</sub>S와 CdTe의 여섯가지가 개발되었다. 이 중 CdTe는 태양전지의 광흡수층으로서 이상적인 1.5eV의 band-gap을 가지며, 박막형으로 쉽게 제조할 수 있고, 박막으로도 충분히 빛을 흡수할 수 있으므로 저가격 태양전지의 재료로 유망하다.

그러나 CdTe는 표면재결합 속도가 커 동중접합(n층과 p층이 같은 물질로 구성된 pn 접합) 태양전지보다는 band-gap이 큰 ITO, CdS, ZnO

등을 광투과층으로 이용한 이중접합형의 태양전지에 대한 연구가 활발하다.

이들 광투과층 중 CdS는 안정성이 우수하여, Cu<sub>2</sub>S系, CuInSe<sub>2</sub>系, InP系 태양전지의 광투과층으로도 사용된다.

CdS를 광투과층으로, CdTe를 광흡수층으로 한 최초의 n-CdS/p-CdTe 이중접합 태양전지는 1972년 CVD法으로 제조되었는데, 효율은 5~6%였다.<sup>1)</sup> 이系の理論效率는 17%로 계산되는데,<sup>2)</sup> 현재까지 보고된 최고의 효율은 12.8%에 이른다.<sup>3)</sup> 이 12.8% 효율의 태양전지는 CdS를 반죽상태(slurry)로 만들어 유리기판 위에 "screen-printing"하고 소결하여 CdS박막을 제조하고, Cd+Te 반죽을 CdS소결막 위에 도포한 후 소결하는 방법으로 제작되었다. 이와 같이 screen-printing하고 소결하는 방법은 제조공정이 간단하고, 쉽게 자동화할 수 있어 대량생산에 적합하며, 제조과정 중 재료의 손실이 거의 없기 때문에 저가격 태양전지의 제조방법으로 적합하다.

현재 대표적인 저가격 태양전지로서는 위에서 기술한 박막형 CdS/CdTe 태양전지와 비정질 Si 태양전지를 들 수 있는데, 이 태양전지들은 양산할 경우 그 생산가가 1\$/Wp로 낮아질 수 있다고 기대되어, 美國의 Arco Solar Inc.와 日本의 私下電氣가 양산체제에 들어간 것으로 알려졌다.<sup>4)</sup> 여기서 주목할 것은 美國은 비정질 Si 태양전지의 제작기술만 보유하고 있고, 日本은 비정질 Si 태양전지 및 박막형 CdS/CdTe 태양전지의 제작기술을 다 보유하고 있는데, 日本에서 양산체제에 들어간 系는 박막형 CdS/CdTe 태양전지라는 점이다.

본고에서는 태양전지의 작동원리를 간단히 살펴 본 후, 박막형 CdS/CdTe 태양전지의 제조방법과 문제점들을 검토하여 앞으로의 개선방안을 모색하고자 하였다.

## 2. 태양전지의 作動原理

태양전지는 빛을 흡수하여 전자-정공 쌍을 分離시킬 수 있는 pn접합이나 Schottky접합 및

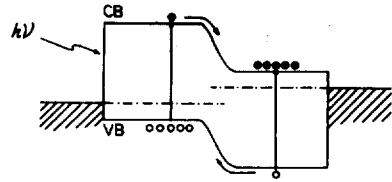


그림 1. 태양전지의 energy band diagram

분리된 전하를 포집하는 전극으로 구성된 소자이다. 그림 1.은 빛이 입사되었을 때 태양전지에서 일어나는 현상을 도식화한 energy band diagram이다. 반도체막에 입사된 빛에 의해 여기된 전자와 정공이 확산하여 강한 전장이 걸려 있는 접합부에 도달하면, 전자는 n형 반도체 쪽으로, 정공은 p형 반도체 쪽으로 분리된다. 이때 양 전극사이가 개방되어 있으면, 여기에 전압이 걸리고, 단락되어 있으면, 전류가 흐르게 되는데, 이 전압과 전류를 각각 개방전압(open circuit voltage,  $V_{oc}$ ), 단락전류(short circuit current,  $I_{sc}$ )라 한다.

광상태에서 이상적인 태양전지의 전류-전압 특성은 다음과 같은 diode 방정식을 따른다.

$$I = I_0(\exp(qV/AkT) - 1) - I_L \quad (1)$$

위 식에서  $I_0$ 는 역포화전류,  $A$ 는 diode quality factor,  $I_L$ 는 light generated current이다.

그러나 실제 태양전지는 각 반도체막의 저항 성분, 전극저항 등 전지의 내부저항을 가지고 있으며, 접합면의 결함과 반도체 표면 등 누설 전류 통로가 있으므로, 전류-전압 특성은 위 식의 관계를 벗어나게 된다. 이러한 점을 보완하여 설정한 등가회로는 그림 2.의 (a)와 같고, 그 등가회로로부터 구한 광전류-전압 특성은 다음식으로 주어진다

$$I = I_0\{\exp[q(V - IR_s)/AkT] - 1\} + \frac{V - IR_s}{R_{sh}} - I_L \quad (2)$$

(2)식으로 부터 태양전지의 단락전류와 개방전압은 각각 (3), (4)식으로 표현된다.

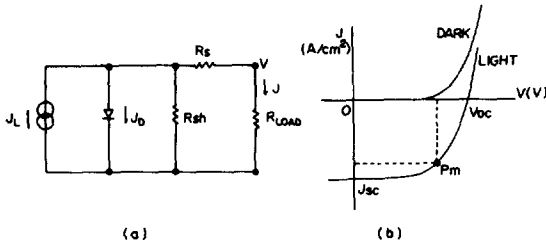


그림 2. (a) 태양전지의 등가회로  
(b) 태양전지의 전류-전압 특성

$$I_{sc} = (1 + \frac{R_s}{R_{sh}})^{-1} \left\{ I_0 \left[ \exp\left(-\frac{qI_{sc}R_s}{AkT}\right) - 1 \right] - I_L \right\} \quad (3)$$

$$V_{oc} = \frac{AkT}{q} \ln \left[ \left( I_L - \frac{V_{oc}}{R_{sh}} \right) / I_0 + 1 \right] \quad (4)$$

(3), (4)식에서 높은 직렬저항( $R_s$ )은 단락전류의 감소요인이 되고, 병렬저항( $R_{sh}$ )이 낮으면 개방전압이 저하되는 것을 알 수 있다.

효율은 태양전지에서 얻을 수 있는 최대의 전기에너지를 입사한 광에너지로 나눈 값으로 식(5)와 같이 주어진다.

$$\eta = P_m / P_i = I_{sc} V_{oc} FF / P_i \quad (5)$$

여기서 FF는 충실도라 하며,  $R_s$ 가 작을 수록,  $R_{sh}$ 가 클 수록 높은 값을 갖는다.

$I_{sc}$ ,  $V_{oc}$ , FF 및 효율은 태양전지의 photovoltaic 특성을 나타내는 기본적인 변수이다.

그림 2.(b)에는 태양전지의 광전류-전압 특성을 나타내었다.

### 3. 박막형 CdS/CdTe 태양전지의 製造 方法

최초의 CdS/CdTe 태양전지는 CVD로 제조한 박막형(all-thin-film) 태양전지였으나, 그 이후의 연구에서는 대부분 CdTe 단결정 상에 진공증착, CSVT(close-spaced vapor transport), spray pyrolysis, VPE(vapor phase epitaxy) 등의 방법으로 CdS층을 형성하여 태양전지를 제작하였다.

All-thin-film 태양전지의 제조방법은 Tyan

등<sup>5)</sup>의 CSVT, Basol 등<sup>6)</sup>의 電着法, 日本 松下 電氣 研究所 팀과 國內 KAIST group의 screen-printing 후 소결하는 方法<sup>3), 7)-12)</sup> 등이 보고된 바 있다.

CSVT나 電着法에 의해 제조한 CdS 박막은 전기저항이 비교적 큰 값을 가져 ITO등의 전면 전극을 사용하여야 하는데 비해, 소결체 CdS/CdTe 태양전지 제작법에서는 CdCl<sub>2</sub> 용제(flux)로 사용하면, 투명할 뿐 아니라 전기저항도 낮은(0.5Ω-cm)소결체 CdS박막을 제조할 수 있어 CdS박막이 광투과층과 전면전극 역할을 동시에 할 수 있는 장점도 있다.

이하에서는 이 "screen-printing과 소결"에 의한 CdS/CdTe 태양전지의 제조방법을 보다 자세히 소개하고, 제조조건에 따른 전지 특성 및 전지를 구성하는 각 반도체막의 성질 변화를 고찰하여 앞으로의 연구 방향을 모색하고자 한다.

#### 3.1 高效率 소결체 CdS/CdTe 태양전지의 製造방법

이 절에서는 지금까지의 연구 결과를 토대로 최근에 國內에서 제작된 소결체 CdS/CdTe 태양전지의 제조방법과 특성을 소개한다.

광투과층인 CdS 박막은 CdS분말과 10wt.%의 CdCl<sub>2</sub>를 첨가하고 propylene glycol을 결합제로 사용하여 반죽상태로 만든 후 봉화규소 유리기판 위에 도포, 건조시킨 후 600°C에서 2시간 소결하고, 다시 열처리함으로써 제조한다.

제조된 CdS소결막 상에 CdTe와 6wt.%의 CdCl<sub>2</sub>를 혼합한 반죽을 625°C에서 1시간 소결하여 pn접합을 형성한다.

CdS소결막 상에는 In-Ag paint를, CdTe에는 carbon paint를 입히고 질소분위기에서 열처리

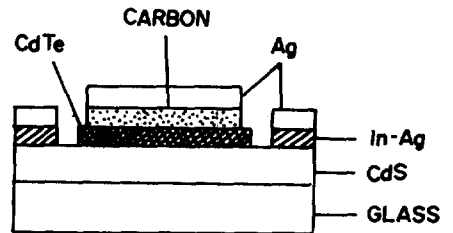


그림 3. 소결체 CdS/CdTe 태양전지의 구조



그림 4. 소결체 CdS/CdTe 태양전지의 단면부 주사전자현미경 사진

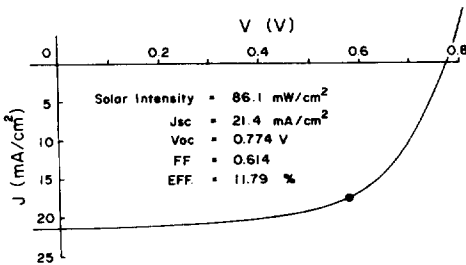


그림 5. 소결체 CdS/CdTe 태양전지의 광상태 전류-전압 특성<sup>(13)</sup>

하여, ohmic 전극을 형성한다.

완성된 태양전지의 구조는 그림 3.에 도식적으로 나타내었으며, 그림 4.에는 전지의 단면부를 촬영한 SEM 사진을 나타내었다.

그림 5.는 이 태양전지의 실제 태양광 하에서의 동작 특성을 나타낸 것으로서 특성곡선 상에 표시된 검은 점은 최대 출력점이다. 86.1mW/cm<sup>2</sup> 입사광 하에서 이 시편의 단락전류, 개방전압, 총실도는 각각 21.4mA/cm<sup>2</sup>, 0.774V, 0.614 이고, 변환효율은 11.79%이다.

### 3.2 CdS 소결막의 제조

이종접합 태양전지의 광흡수층에 최대한의 빛이 도달하기 위해서는 광투과층의 광투과력이 우수하여야 되므로, 광투과층은 밀집된 미세구조를 가져야 한다.

밀집된 구조의 CdS 박막을 소결하여 제조하기

위해서는, 소결온도가 700°C 이상이거나, 소결촉진제를 사용하여야 한다. 고온에서는 사용할 수 있는 기판이 제한되는 문제점이 있으므로 소결촉진제를 사용하여 소결온도를 낮추는 것이 바람직하다.

용점이 568°C인 CdCl<sub>2</sub>는 그 용점 이상의 온도에서 CdS의 소결촉진효과를 나타내며, CdS에 "photosensitizing center"의 형성 등에 의한 광투과력 저하의 문제를 야기시키지 않으므로 CdS 광투과층 제조시의 소결촉진제로 적합하다. 그러나 CdCl<sub>2</sub>는 고온에서 증기압이 높아 소결시 박막에서 쉽게 제거되므로 그 소결촉진효과를 충분히 이용하기 위해서는 이 증발을 억제하여야만 한다.

CdCl<sub>2</sub>의 증발 억제 방안으로는 시편을 alumina case, 뚜껑이 있는 석영 boat, 또는 석영병(quartz ampoule)에 넣어 소결하는 방법을 사용하고 있다.

그림 6.은 뚜껑이 있는 석영 boat를 사용하여 650°C에서 소결한 시편의 미세구조 사진으로 소결전 CdCl<sub>2</sub>를 첨가하지 않은 경우와 10wt.% 첨가한 경우의 차이를 명확히 볼 수 있다. 석영

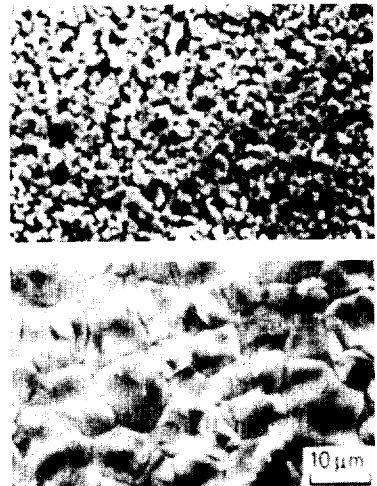


그림 6. 650°C 질소분위기 중에서 소결한 CdS 박막의 미세구조<sup>(14)</sup>

- (a) CdCl<sub>2</sub>를 첨가하지 않은 경우
- (b) 10wt.% CdCl<sub>2</sub>를 첨가한 경우

boat를 이용하여 소결한 경우에도  $CdCl_2$ 는 650 °C에서는 소결도중 boat와 두껍의 틈 사이로 대부분 빠져나간다.

그림 7.은  $CdCl_2$ 의 첨가량에 따른 전기비저항의 변화를 나타낸 것으로  $CdCl_2$ 의 첨가량이 너무 적거나 많으면 비저항이 높은 것을 보이고 있다. 이들 시편의 전하농도와 유동도 및 미세구조를 관찰한 결과,  $CdCl_2$ 가 거의 잔류하지 않아 전기적 성질에 영향을 미치지 않은 경우에는 CdS의 결정립도가 클 수록 전위장벽으로 작용하는 입계의 수가 줄어들므로 유동도가 높아지고, dopant의 농도가 높아 비저항이 낮아진다는 것을 알 수 있었다.  $CdCl_2$ 가 소결막에 많이 잔류하면 CdS 입계의 trap 농도를 증가시켜, 전하유동도를 크게 감소시키기 때문에 저항이 높아진다는 것도 분석되었다.

그림 8.은  $CdCl_2$ 의 첨가량을 10wt.%로 고정시키고, 소결온도를 변수로 택하였을 때 비저항의 변화를 나타낸 것이다. 소결온도가 증가할 수록 미세구조가 향상되다가 온도가 너무 높으면  $CdCl_2$ 의 증발이 심화되어 미세구조가 악화되는 현상과 소결온도가 높을 수록  $CdCl_2$ 의 잔류량이 감소하는 것을 고려하면, 그림 8.의 저

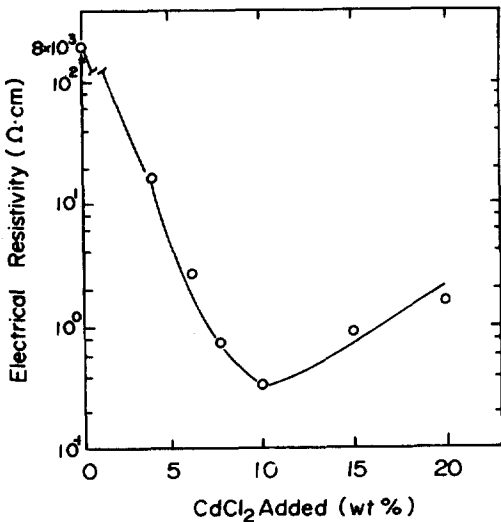


그림 7.  $CdCl_2$  첨가량에 따른 소결체 CdS 박막의 전기비저항 변화<sup>(14)</sup>

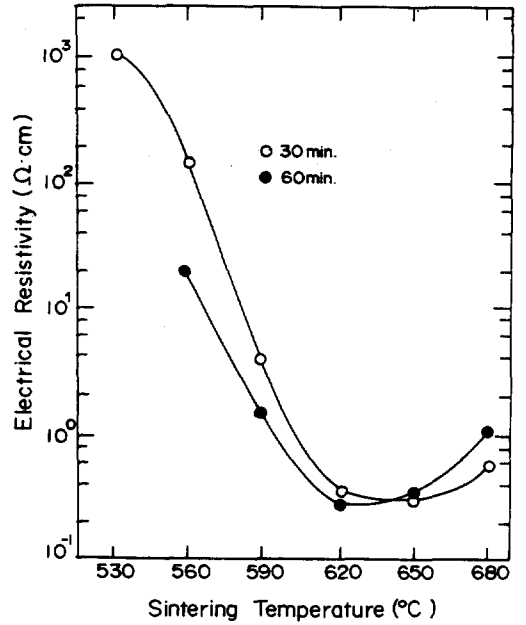


그림 8. 10wt.%의  $CdCl_2$ 를 첨가하여 제조한 CdS 소결막의 소결온도에 따른 전기비저항의 변화<sup>(15)</sup>

항변화는 그림 7.과 같은 맥락에서 파악될 수 있다. 소결시간에 따른 전기저항의 변화 역시 그림 8.의 변화와 유사한 경향을 나타내었다.

이러한 결과들을 통해  $CdCl_2$ 를 소결촉진제로 사용하여 CdS 소결막을 제조할 때, 비저항이 낮고 광투과도가 높은 시편을 얻기 위해서는  $CdCl_2$ 의 증발속도 조절이 매우 중요하다는 것을 알 수 있었다.  $CdCl_2$ 의 증발속도 조절은 소결온도를 변화시키는 방법 외에도 alumina case나 석영병을 사용하는 경우에는 그 case나 병에 작은 구멍을 뚫고, 구멍의 수를 조절함으로써 훨씬 용이해졌다. 뿐만 아니라 소결시간을 변화시키거나, 소결 후 다시 熱處理하는 방법 등을 도입하여 현재는 CdS 박막의 미세구조와  $CdCl_2$ 의 잔류량 등을 어느 정도 조절할 수 있는 수준에 까지 도달하였으며, 광투과력이 우수하고,  $CdCl_2$ 外 다른 불순물을 dopant로 사용하지 않고도 1 Ω·cm 이하의 낮은 비저항을 갖는 CdS 박막을 재현성 있게 얻을 수 있게 되었다.

지금은 광투과층의 광투과도를 더욱 증가시키

기 위하여 CdS 보다 band-gap이 더 큰 CdZnS 박막을 밀집된 구조로 제조하기 위한 연구가 진행 중이다.

### 3.3 CdTe막의 소결 및 pn접합 형성

CdS 소결막 위에 형성하는 CdTe층도 CdCl<sub>2</sub>를 첨가하고 소결하여 제조한다. 그런데 이 때 반죽은 CdTe 분말로 제조하거나, Cd와 Te 분말을 혼합하여 제조한다. Cd+Te 반죽을 도포하고 소결하는 방법은 CdTe 반죽을 이용하는 것보다 재료가 더 절감될 수 있고, 가장 높은 효율의 태양전지도 이 Cd+Te 반죽을 사용하여 얻어지기는 했으나, 소결도중 Cd와 Te의 합성反應, Cd 및 Te 액상의 증발 등 복잡한 현상들이 일어나, 그 소결거동을 명확히 파악하기 힘든 상태이므로 본고에서는 주로 CdTe반죽을 사용한 예를 들어 기술하고자 한다.

CdS 소결막 위에 도포된 CdTe 막을 소결하는

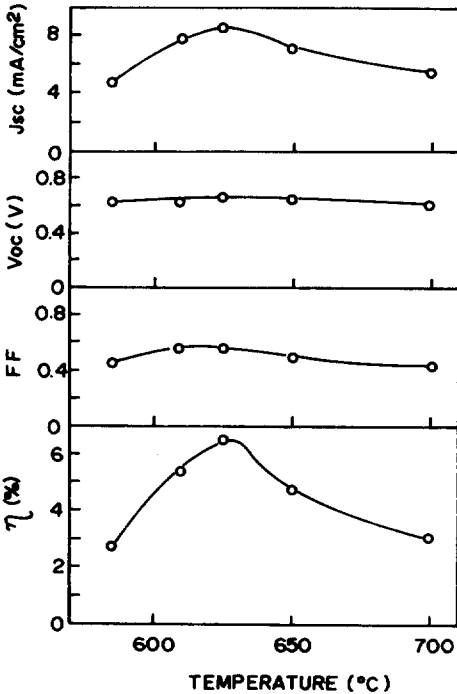


그림 9. CdTe 소결온도에 따른 CdS/CdTe 태양전지의 50mW/cm<sup>2</sup> tungsten 光 하에서의 특성 변화<sup>(11)</sup>

과정에서 CdS/CdTe의 pn접합이 형성되므로<sup>10)</sup> CdTe막의 소결조건은 태양전지의 특성에 큰 영향을 미친다.

그림 9.는 CdTe 소결온도에 따른 태양전지의 50mW/cm<sup>2</sup> tungsten 光 하에서의 특성변화를 나타낸 것으로 625°C에서 소결한 시편의 효율이 가장 높은 것을 볼 수 있다. 접합형성 후 CdTe와 CdS 층의 미세구조 및 단락전류의 분광반응 (spectral response)의 분석을 통해 그림9.의 결과는 다음과 같이 해석되었다. 첫째, 소결온도가 낮으면 CdTe가 기공이 많은 구조로 되어 접합면의 면적이 축소되고, CdTe와 기체의 계면에서의 재결합이 심각하게 되어 단락전류가 감소한다. 뿐만 아니라 CdTe의 저항이 증가하므로 직렬저항이 높아 충실도도 낮아진다. 소결온도가 625°C로 높아지면 ohmic 전극을 부착할 CdS 노출부에 CdTe와 CdCl<sub>2</sub>가 얇게 입혀져 전극저항을 상승시키고, pn 접합이 CdTe 쪽으로 깊어 형성되어, 즉 태양전지가 “n-CdS/n-CdTe/p-CdTe buried homojunction”의 형태로 되어 n-CdTe 또는 n-CdS<sub>1-x</sub>Te<sub>x</sub> 고용체막이 pn 접합에 도달하는 빛을 약화시키므로 단락전류가 감소한다. 그러나 625°C에서 소결한 시편은 CdTe 층이 밀집된 구조를 가지면서도 전극저항의 상승 및 buried homojunction의 발생에 의한 태양전지의 성능저하 요인이 심각하지 않기 때문에 극대의 효율을 나타낸 것이다.

최근의 연구 결과<sup>16)</sup>에 의하면 소결온도가 625°C일지라도 CdS에 잔류하는 CdCl<sub>2</sub>량이 많으면, buried homojunction이 발생된다고 한다.

CdS 막의 두께가 다르면, 소결조건이 같더라도 잔류하는 CdCl<sub>2</sub>량이 크게 차이가 나므로 소결상상도 달라지게 된다. CdS 막의 미세구조와 잔류하는 CdCl<sub>2</sub>의 量的 差異는 접합형성과정에서 CdTe의 미세구조, pn 접합의 위치 등을 변화시키므로 CdS 막의 두께 변화에 따른 전지 특성의 변화를 고찰하는 것은 중요한 연구과제가 된다. 3-4 절에서는 CdS 막의 두께에 따른 전지 특성 변화에 대한 연구 결과를 기술하였다.

### 3. 4 CdS막의 두께에 따른 CdS/CdTe

소결체 태양전지의 특성 변화

10wt.%의 CdCl<sub>2</sub>를 첨가하여 650°C에서 한시간 소결한 CdS 박막의 두께에 따른 전기비저항과 판저항의 변화를 그림 10.에 나타내었다. CdS 막의 두께가 증가함에 따라 비저항이 감소하여 극소치에 도달한 후 다시 증가하는 경향을 나타내는데, 이것은 CdCl<sub>2</sub>의 첨가량(그림 7.)이나, 소결온도에 따른 비저항 변화(그림 8.)와 유사한 경향으로 소결막의 미세구조와 잔류하는 CdCl<sub>2</sub>가 전기적 성질에 미치는 영향으로 이해된다.

그림 11.은 두께가 다른 CdS 소결막의 광투과율 spectrum으로 CdS 막의 두께가 20μm 일 때가 14μm로 더 얇은 시편보다 더 높은 투과율을 나타내며, 두께가 20μm 이상으로 증가하면, 투과율이 낮아지는 것을 볼 수 있다. 이들 소결막으로 제조한 태양전지는 CdS 소결막의 두께가 20μm 일 때 극대의 효율을 나타내었다.

최근의 연구 결과, CdS의 소결온도를 600,

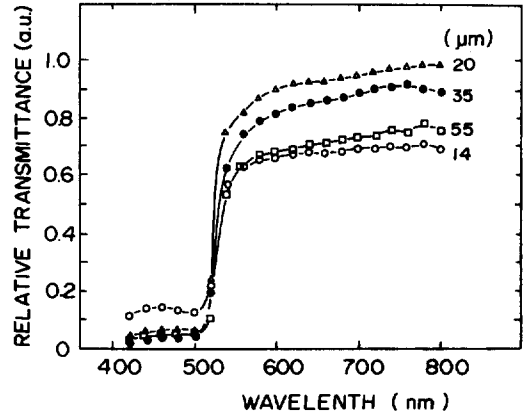


그림 11. 650°C에서 소결한 CdS 박막의 두께에 따른 광투과율 spectrum의 변화<sup>(12)</sup>

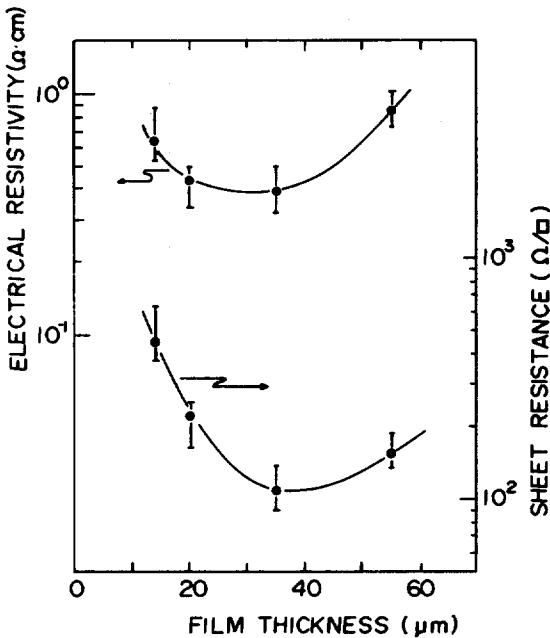


그림 10. 650°C에서 소결한 CdS 박막의 두께에 따른 전기비저항 및 판저항의 변화<sup>(12)</sup>

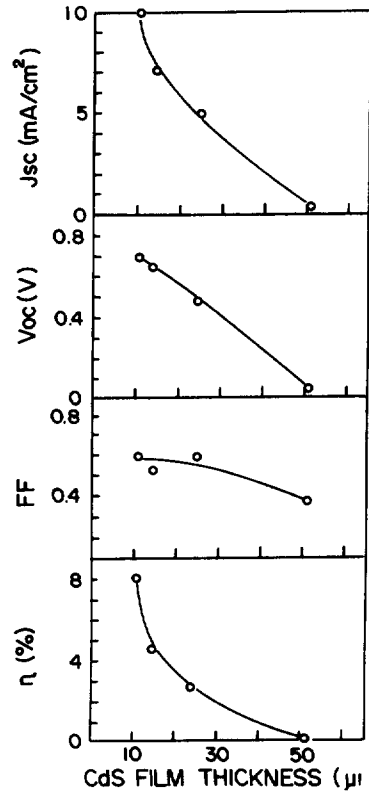


그림 12. 560°C에서 소결한 CdS 박막의 두께에 따른 CdS/CdS/CdTe 태양전지의 특성 변화<sup>(17)</sup>

\* 50mW/cm<sup>2</sup> tungsten 光 하에서 측정 되었음.

560°C로 낮추면 극대의 효율을 나타내는 CdS 소결막의 두께는 더욱 감소하고 두께 증가에 따른 효율의 감소가 더 급격한 양상을 보이는 것이 밝혀졌다.(그림 12). 이는 소결온도의 감소에 따른 CdCl<sub>2</sub> 잔류량의 증가가 buried homo-junction의 경향을 심화시킨 때문으로 분석되고 있다.

#### 4. 결론

실용화를 위한 태양전지 개발에 대한 연구는 보다 고효율의 태양전지를 보다 값싸게 제조한다는 전제하에서 이루어져 왔다. 그 중에서 박막형 CdS/CdTe 태양전지는 비교적 고효율을 얻을 수 있는系이며, 그 제조방법도 상당히 경제성이 있는 것으로 판단된다. 이 태양전지의 특성은 CdS 층 및 CdTe 층의 소결시, 첨가된 CdCl<sub>2</sub>의 증발속도와 잔류량에 크게 지배되므로 이전의 연구에서는 이 증발속도와 잔류량을 조절하는데 역점을 두었다. 이러한 연구를 통해 CdS/CdTe 태양전지의 제조방법이 많이 개선되었고, 전지의 효율도 國內에서 10% 수준에 도달하였다. 그러나 아직도 염가의 재료로서 부착력이 우수하며, 지속성이 있는 ohmic전극 개발, 저항이 높은 CdTe 박막의 doping 등 효율을 더 향상시키는 과제들이 있고, 소결체 CdS/CdTe 이종접합 태양전지의 동작기구 등은 거의 이해되지 못하고 있는 실정이므로 앞으로도 많은 연구가 요구된다.

#### 참 고 문 헌

- 1) D. Bonnet and H. Rabenhost, Proc. 9th IEEE Photovol. Spec. Conf. (1972) 129.
- 2) A.L. Fahrenbruch, V. Vasilchenko, F. Buch, K. Mitchell, and R.H. Bube, Appl. Phys. Lett. 25(1974) 605.
- 3) K. Kuribayashi, H. Matsumoto, H. Uda, Y. Komatsu, A. Nakano, and S. Ikegami, Jpn. J. Appl. Phys. 22(1983)1828.
- 4) A. Madan, IEEE Spectrum 23(1986) 38.
- 5) Y-S Tyan and E.A. Perez-Albuerne, Proc. 16th IEEE Photovol. Spec. Conf. (1982) 794.
- 6) B.M. Basol, E.S. Tseng, R.L. Rod, S. Ou, and O.M. Stafsudd, Proc. 16th IEEE Photovol. Spec. Conf. (1982) 805.
- 7) N. Nakayama, H. Matsumoto, A. Nakano, S. Ikegami, H. Uda, and T. Yamashita, Jpn. J. Appl. Phys. 19(1980) 703.
- 8) H. Matsumoto, A. Nakano, Y. Komatsu, H. Uda, K. Kuribayashi, and S. Ikegami, Jpn. J. Appl. Phys. 22(1983) 269.
- 9) H. Uda, A. Nakano, K. Kuribayashi, Y. Komatsu, H. Matsumoto, and S. Ikegami, Jpn. J. Appl. Phys. 22(1983) 1822.
- 10) 이재신, 임호빈, 전기학회논문지 34(1985) 159.
- 11) J.S. Lee and H.B. Im, J. Materials. Sci. 21(1986)980
- 12) J.S. Lee, Y.K. Jun, and H.B. Im, J. Electrochem. Soc. 134(1987)248.
- 13) K.C. Park and H.B. Im, unpublished.
- 14) H.G. Yang and H.B. Im, J. Materials Sci. 21(1986)775.
- 15) H.G. Yang and H.B. Im, J. Electrochem. Soc. 133(1986) 479.
- 16) 이재신, 한국과학기술원 박사학위 논문(1986)
- 17) Y.K. Jun and H.B. Im, unpublished.