

논문 97-6-5-10

CSV T법으로 제조된 CdS 박막의 전기적 및 광학적 특성

박기철*, 심호섭*

Electrical and Optical Properties of CdS Thin Films Deposited by CSV T Method

Ki Cheol Park*, Ho Seob Shim*

요약

CSV T(close spaced vapor transport)법으로 CdS/CdTe 이종접합 태양전지의 창재에 적합한 낮은 비저항과 적절한 광투과도를 갖는 CdS막을 증착하였다. 기판온도, 분위기압, 소스온도 등의 증착조건에 따른 CdS막의 전기적 및 광학적 특성을 조사하였다. 최적 증착조건은 기판온도 300°C, 분위기압 100mTorr 및 소스온도 730°C였으며, 이 때 증착된 CdS막의 비저항은 $7.21 \times 10^{-3} \Omega \text{cm}$ 였으며 광투과도는 65% 이상이었다. 일반적인 고진공증착법으로 제조된 CdS막에 비해서 결정성이 크게 향상되었고 비저항은 약 3승정도 감소하였으며 광투과도는 비슷하여 창재로서 우수한 특성을 나타내었다.

Abstract

CdS thin films with low resistivity and adequate transmittance in the visible region for the window of CdS/CdTe hetero junction solar cell were prepared by close-spaced vapor transport(CSV T) method. The electrical and optical properties of the CdS thin films were investigated in terms of the deposition conditions, such as the substrate temperature, the working pressure, and the source temperature. The substrate temperature, the working pressure, and the source temperature for the optimum deposition of the CdS thin films were 300°C, 100mTorr, and 730°C, respectively. The resistivity and the transmittance of the CdS thin films deposited under this condition were about $7.21 \times 10^{-3} \Omega \text{cm}$ and over 65%, respectively. The crystallinity, the resistivity, and optical band gap were improved greatly compared to the CdS thin films deposited by general high vacuum evaporation.

1. 서론

CdS막은 n형 직접천이형 II-VI족 화합물반도체로 광특성이 우수하여 광도전막과 이종접합 태양전지의

창재로서 꾸준히 연구되어 왔다¹⁻⁴⁾. 광도전막으로서의 CdS막은 우수한 광도전 특성과 광응답속도를 개선시키기 위하여, 창재로서의 CdS막은 낮은 비저항과 가시광 영역에서의 높은 광투과도 그리고 광흡수층과의 양호한 접합계면의 형성 등을 통하여 높은 에너지변환 효율을 갖도록 연구되어 왔다. 본 연구에서는 창재로서의 CdS막을 다루었다. CdS막의 제조방법에는 진공증착법^{1,4)},

* 경상대학교 전기전자공학부 및 항공기부품기술 연구센터 (Division of Electrical and Electronic Engineering and Research Center for Aircraft Parts Technology, Gyeongsang Nat'l University)
<접수일자 : 1997년 7월 31일>

분무열분해법^[67], 스크린 프린팅법^[8], CBD법^[9], 액상성장법^[10], CSVT법^[11,12] 등 많은 방법이 있다. 이들 방법 중에서 CSVT법은 장치가 단순하고 저렴하면서도 소스로부터 기관까지의 전송효율이 우수하고 높은 생산성을 갖고 있어서 여러가지 II-VI족 화합물반도체를 제조할 수 있는 것으로 알려져 있다^[13-15]. CSVT법은 소스상에서 증착하고자 하는 화합물의 분해와 분위기가스를 통한 전송, 기관상에서의 직접적 재결합에 의해 박막이 형성되므로 CVD법이라고도 할 수 있으며 일반 진공증착법에 비해 비교적 높은 기관온도와 분위기압 하에서 증착되는 특징을 가지고 있다.

본 논문에서는 창재로서의 우수한 특성을 가지는 CdS박막을 제조하기 위하여 자체 제작된 CSVT증착시스템과 증착동안 증착율이 일정한 CdS후막소스^[16]를 이용하여 기관온도, 분위기압, 소스온도등 증착변수를 변화시켜 가면서 막을 제조하고 그의 전기적 및 광학적 특성을 규명하고자 하였다.

II. 실험 및 측정

일반적인 CSVT용 소스로는 단결정이나 분말을 사용하는 것이 일반적이나 단결정은 가격이 비싸고 분말은 보트상에서 스페터링이 발생하고 일회 증착시 분말의 소모가 많은 단점을 가진다. 이에 비해 자체 제작된

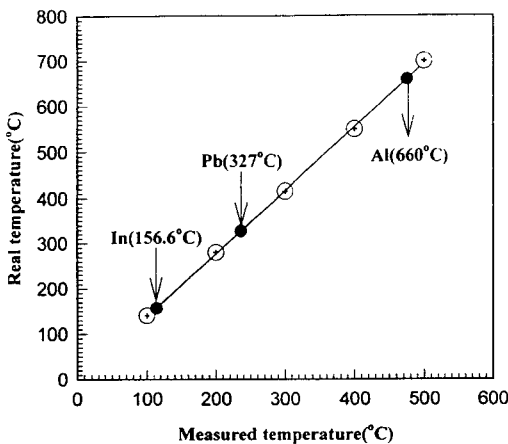


그림 1. 실제 기관 및 소스온도를 결정하기 위한 보정온도
 Fig. 1. Calibration curve for determination of source and substrate temperature.

CdS 후막소스는 이러한 단점들을 보완할 수 있으며 증착동안 증착율도 일정하였다^[16]. 기관과 소스의 온도는 용융점이 150°C, 327°C, 및 660°C인 In, Pb, Al을 이용하여 용융점을 열전대로 측정하고 실제온도로 환산하여 온도를 보정하였다. 그림 1은 이로부터 구한 기관 및 소스온도의 보정곡선이다. 보정곡선에서 소스온도 300°C일 때 실제온도는 약 420°C로 나타났다.

기관으로는 평판표시기용 코닝글라스를 사용하였으며 일반 표준세척공정을 거친후 질소가스로 불고 오븐에서 30분간 건조시켰다. 증착전에 5×10^{-6} Torr에서 300°C까지 가열하여 outgassing하였다. 표 1은 CSVT 증착시스템을 사용하여 고진공증착시킨 CdS막의 증착조건과 CSVT법을 이용한 CdS막의 증착조건을 나타낸 것이다.

표 1. 고진공증착법으로 제조된 CdS막의 최적 증착조건 및 CSVT법으로 증착된 CdS 막의 증착조건

Table 1. Optimum deposition conditions of the CdS film prepared by high vacuum evaporation and deposition conditions of the CdS films prepared by CSVT method

Deposition Parameters	Deposition Conditions	
	High Vacuum	CSVT
Ambient gas	None	Ar
Source temperature	670°C	730°C
Substrate temperature	25°C	25~500°C
Source-substrate distance	5cm	1cm
Working pressure	2×10^{-6} Torr	10~500mTorr
Initial vacuum	5×10^{-6} Torr	5×10^{-6} Torr

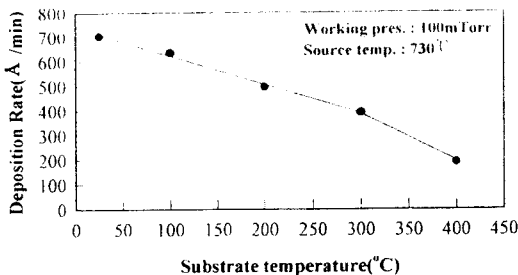
고진공 증착에서의 최적 증착조건은 기관온도 25°C, 소스와 기관사이의 간격 5cm, 소스온도 670°C였다. CSVT법에서는 초기진공도를 5×10^{-6} Torr로 하였으며 기관과 소스의 간격은 1cm로 고정하였다. 분위기가스로는 Ar을 사용하였으며 기관온도는 실온에서 500°C까지 100°C간격으로 변화시켰으며 분위기압은 10mTorr에서 500mTorr까지 변화시켰다. 증착된 막의 두께는 α -step(α -500, Tencor Co.)으로 측정하였다. CdS막의 증착조건에 따른 결정성, 결정구조, 결정방향은 x-선회절분석기(D/Rigaku Co.)를 사용하여 회절각 2θ 를 20°에서 80°까지 변화시켜 가면서 x-선 스펙트럼을 측정하여 분석하였다. 이 때 타겟은 CuK α

(1.5418Å)였으며 가속전압과 전류는 각각 30kV, 20mA였다. SEM표면분석을 통하여 막표면의 거칠기, 결정입자의 크기, 결정입계 등을 관찰하였다. EDS를 통하여 CdS막내의 화학양론적 조성을 분석하였는데, 가속전압을 15kV로 하여 표면의 3점에서 구한 조성값을 구한 후 평균치로 하였으며 EDS분석은 탐침깊이를 고려하여 1.2 μ m의 두께를 가진 시편을 사용하였다. 전기적 특성은 Hall효과 자동측정시스템(Bio-rad Co. UK)을 사용하여 비저항, Hall 이동도, 캐리어농도 등을 측정하여 조사하였다. Hall효과를 측정하기 위하여 0.5 \times 0.5cm 크기의 정사각형으로 시편을 자른 후 시편의 사각모서리에 반경 1mm의 1/4원 형태로 In/Al전극을 증착하여 오염성접촉을 시킨 시편을 준비하였으며 실온 및 암상 상태에서 측정하였다. 광학적 특성은 UV-Vis 분광광도계를 사용하여 300nm에서 700nm까지의 가시광영역에서 광투과도를 측정하여 광흡수계수 및 광학적 밴드갭을 구하였다.

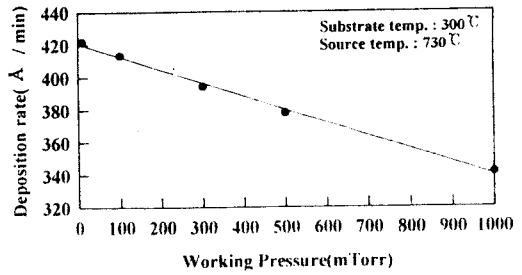
III. 결과 및 고찰

1. 증착율

그림 2는 소스온도를 730 $^{\circ}$ C로 고정하고 100mTorr에서 증착한 CdS막의 기판온도에 따른 증착율과 소스온도를 730 $^{\circ}$ C로 고정하고 기판온도 300 $^{\circ}$ C에서 증착한 CdS막의 분위기압에 따른 증착율을 나타낸 것이다. 증착율은 기판과 소스 사이에 셔터를 설치하여 증착이 시작되는 시점에서 셔터를 열고 소스의 CdS가 적당량 남아 있을 때 셔터를 닫아 증착시간에 대한 두께의 변화분($\text{\AA}/\text{min}$)으로 구하였다. 기판온도가 증가함에 따라 증착율은 선형적으로 감소하였다. 기판온도가 증가함에 따라 증착율이 감소하는 것은 기판온도증가에 따른 표



(a)



(b)

그림 2. CdS막의 기판온도와 분위기압에 대한 증착율의 변화

Fig. 2. Dependence of deposition rate on (a) substrate temperatures and (b) Ar working pressure.

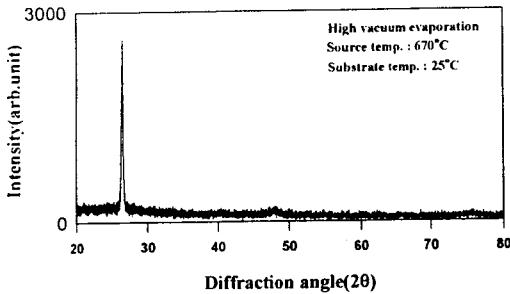
면이동도 증가에 기인하여 막이 훨씬 밀도있게 성장하기 때문이다. 분위기압 증가에 따라 증착율 또한 선형적으로 감소하였다. 이는 Ar 분위기압이 증가함에 따라 증발입자들의 Ar입자들과의 충돌증가에 따른 평균 자유행정의 감소에 기인하는 것으로 판단된다.

2. 구조적 특성

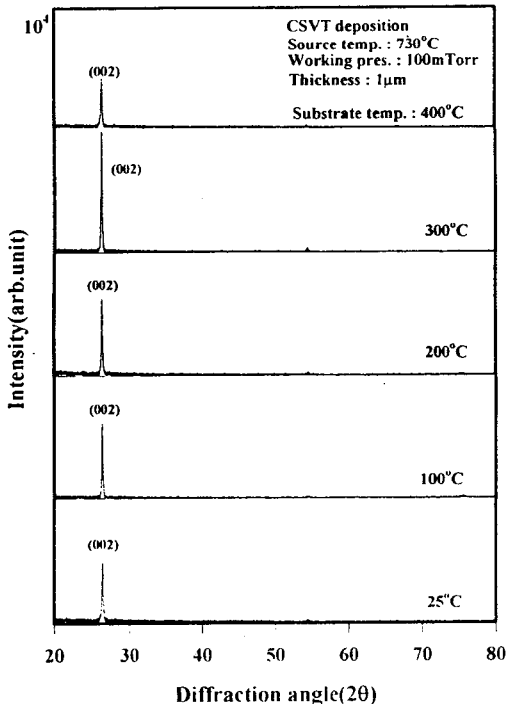
그림 3은 고진공증착법으로 증착된 CdS막 및 기판온도와 Ar 분위기압을 달리하면서 CSV T법으로 증착된 CdS막들에 대한 x-선 회절패턴을 나타낸 것이다. 가속전압 및 전류는 30kV 및 20mA로 같았다. 고진공 증착법으로 최적 조건에서 증착된 CdS막에 비해 CSV T법으로 기판온도 300 $^{\circ}$ C, Ar 분위기압 100mTorr에서 증착된 CdS막은 (002)면으로의 피크강도는 3배 이상 현저하게 증가하였으며 반치폭은 1/3이하로 현저하게 감소하여 결정성이 크게 향상됨을 알 수 있었다. CSV T법으로 증착된 CdS막에서는 기판온도가 증가함에 따라 (002)면으로의 피크가 성장하였으며 300 $^{\circ}$ C에서 최대피크를 나타내었다. 400 $^{\circ}$ C에서의 피크의 감소는 증착중에 발생하는 물리브덴판으로부터의 CdS소스의 탈리에 의하여 막두께가 4000 \AA 으로 현저하게 감소하였기 때문이다. 물리브덴판으로 부터의 탈리는 기판온도 400 $^{\circ}$ C 이상에서 관찰되었다. 분위기압의 증가에 따라 (002)면으로의 피크강도는 현저하게 감소하였으며 반치폭은 크게 증가하여 결정성이 감소되었으며 이는 분위기압 증가에 따라 더 많은 Ar입자가 막내에 포함되며 또한 Ar입자와의 충돌증가에 따른 adatom들의 에

너지 손실에 따라 표면부착력이 감소하여 막이 밀도있게 성장하지 못하고 결함이 크게 증가하기 때문이며 이에 따라 막의 색이 분위기압이 증가함에 따라 주황색에서 갈색으로 변하는 것과 같은 결과로 보인다.

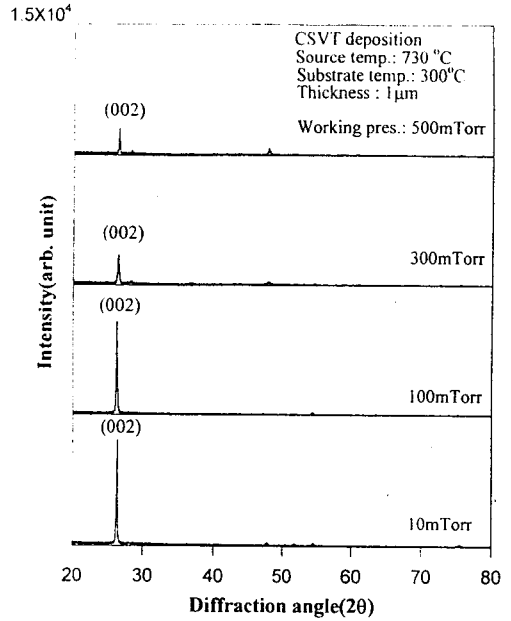
그림 4는 고진공 및 CSVT법의 증착에서의 SEM사진을 비교한 것이다. 고진공증착에서 제조된 CdS막은 300°C의 기판온도에서 7600Å의 두께로 제조되었으며, CSVT법으로 증착된 CdS막 역시 300°C의 기판온도에서 제조되었으며 막 두께는 1µm였다. 두 경우에서 입계의 성장은 발견하기 어려웠으며 표면에서 볼 때 평탄



(a)



(b)



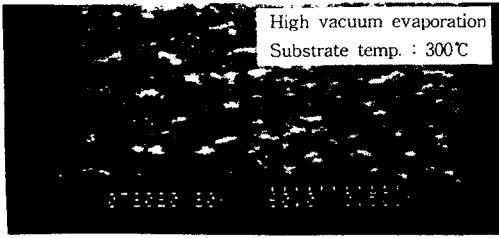
(c)

그림 3. 고진공증착법으로 최적 조건에서 증착된 CdS막 및 CSVT법에 의해 기판온도와 분위기압을 달리하면서 증착된 CdS막들의 XRD 스펙트럼의 변화

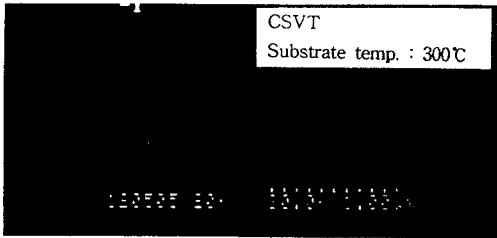
Fig. 3. X-ray diffraction spectra for (a) the CdS film prepared at optimum condition by high vacuum evaporation, b) the CdS films deposited at different substrate temperatures and (c) the CdS films deposited at different working pressures by CSVT method.

하게 자라서 마치 에피택셜 성장한 막과 유사하게 보인다. 단면사진을 통해서도 입자나 주상으로의 성장은 관찰되지 않았다.

그림 4와 같은 조건에서 실리콘기판상에 약1.2µm의 두께로 증착하여 화학적 조성을 확인하기 위하여 EDS 스펙트럼을 구하였다. EDS 분석의 정확도를 고려할 경우 두막의 조성비를 비교하는 것은 큰 의미가 없으나 두막의 Cd : S의 비는 atomic%로 각각 50.02 : 49.98 및 50.51 : 49.41로 모두 1:1에 가까운 조성을 나타내었다. 그림 5는 CSVT법으로 기판온도 300°C, Ar 분위기압 100mTorr에서 증착된 CdS막의 EDS 분석스펙트럼을 보인 것이다. 스펙트럼에서 2.315KeV,



(a)



(b)

그림 4. 고진공증착법으로 증착된 CdS막 및 CSVT 방법으로 증착된 CdS막의 SEM 표면사진
Fig. 4. SEM microphotographs of the CdS films prepared by (a) high vacuum evaporation and (b) CSVT method.

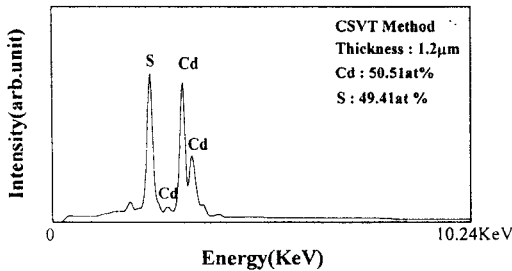


그림 5. CSVT법으로 증착된 CdS막의 EDS 스펙트럼
Fig. 5. EDS spectras of the CdS films prepared by CSVT method.

2.779KeV, 3.139KeV 및 3.367KeV에서의 피크는 각각 S-K α , Cd-L γ , Cd-L α 및 Cd-L β 에서의 피크를 나타낸다.

3. 전기적 특성

일반적으로 CdS막은 자체보상(self-compensation)기구를 가지므로 의도적인 불순물 도핑에 의해 p-형 반도체는 될 수 없다^[17]. CdS막의 전기적 특성은 의도적

인 불순물이 첨가되지 않은 경우에는 Cd와 S의 비화학양론적인 조성에 기인하여 결정되며 일반적으로는 Cd과잉이나 S의 부족에 의해 발생하는 전자가 다수반송자를 형성하므로 항상 n-형 반도체이다. 이러한 비화학양론적인 조성은 기판온도, 소스온도, 분위기압 및 분위기가스등 증착조건에 의해 영향을 받는 것으로 알려져 있으며 특히, 일반적인 고진공증착법으로 제조된 CdS 박막은 기판온도에 의해 크게 영향을 받는 것으로 보고되고 있다^[18]. Snejdard^[19]은 같은 II-VI족 화합물 반도체인 CdSe막의 전기적 특성에 미치는 기판온도의 영향을 잘 설명하고 있다. CdS막이 CdS/CdTe, CdS/Cu₂S, CdS/CuInSe₂등과 같이 이종접합 태양전지의 창으로 응용될 경우에는 비저항을 작게하여 태양전지의 직렬저항을 감소시켜야 한다. 이를 위해서는 막 증착시 증착조건을 조절하여 비화학양론적인 조성의 변화를 통한 자유반송자의 증가와 결정성을 향상시켜 입계에서의 산란을 줄여 이동도를 증가시켜야 한다. 기판온도 변화에 따른 전기적 특성의 변화를 보기위해서 Hall효과를 측정하였다. 그림 6은 CSVT법으로 증착된 CdS 막의 기판온도에 따른 비저항, Hall 이동도, 및 캐리어 농도등을 나타낸 것이다.

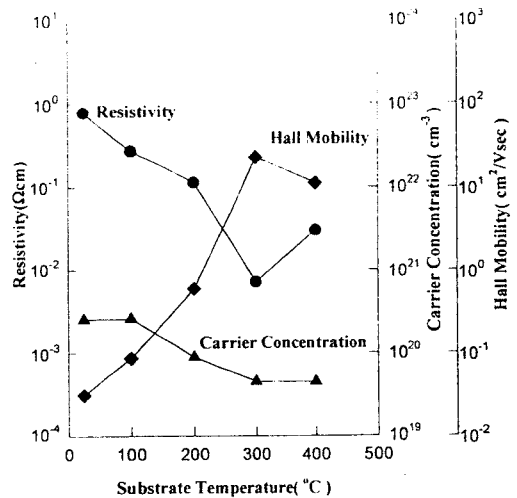


그림 6. 기판온도에 따른 CdS막의 비저항, 캐리어 농도 및 Hall이동도의 변화

Fig. 6. Dependence of the resistivity, the carrier concentration, and Hall mobility of CdS thin films on substrate temperatures.

이때 소스온도는 730°C, Ar분위기압은 100mTorr로 고정하였으며 막의 두께는 $1\mu\text{m} \pm 500\text{\AA}$ 였다. 고진공증착법에서 증착된 CdS막에서는 기판온도가 증가함에 따라 비저항이 현저하게 증가하는 것이 관찰되었으며 이러한 비저항의 현저한 증가를 Buckley^[18]와 Kim등^[4]은 기판온도가 증가함에 따라 Cd원자의 부착계수(sticking coefficient)가 감소하여 증착된 CdS막이 더 화학양론적 조성을 가지기 때문인 것으로 설명하고 있으며 고진공증착법으로 제조된 CdS막에 대한 우리의 연구결과와도 잘 일치하고 있다^[16]. 그러나 CSVT법으로 증착된 CdS막은 기판온도가 증가함에 따라 비저항이 300°C까지는 감소하다가 400°C에서는 비저항이 증가하였다. 캐리어 농도는 기판온도증가에 따라 300°C까지 감소한후 일정하게 되었다. Hall 이동도는 기판온도가 증가함에 따라 현저하게 증가하였으며 실온에 비해 2승 이상 증가하였다. 따라서 CSVT 법에서의 기판온도의 증가에 따른 비저항의 감소는 캐리어농도 보다는 막의 결정성향상에 따른 이동도의 개선에 기인하는 것으로 판단된다. 이의 결과는 그림 3에서의 x-선회절분석의 결과에서 결정성의 현저한 개선과도 일치하는 결과로 보인다.

그림 7은 기판온도를 300°C, 막의 두께를 $1\mu\text{m}$ 로 고정시켜 CSVT법으로 증착한 CdS막을 Ar분위기압을 달리하면서 증착시킨 경우의 비저항, 캐리어 농도, Hall 이동도 등을 나타낸 것이다. 분위기압이 10mTorr에서 100mTorr로 증가함에 따라 비저항이 약 1승 가까이 감소하였으며 캐리어농도는 증가하였으며 이동도는 약하게 감소하여 낮은 분위기압에서의 비저항의 감소는 증착시 막의 화학양론적 조성과 관계를 가지는 것으로 판단되며 100mTorr이상에서의 비저항은 500mTorr까지 3승정도 증가하였다. 이때 캐리어농도의 변화는 관찰되지 않았으나 Hall 이동도의 변화는 3승정도로 현저하게 감소하였다. 100mTorr이상의 압력에서의 Hall이동도의 현저한 감소는 막내의 Ar입자의 증가와 증착원자와 Ar분위기 가스와의 충돌증가로 인하여 에너지를 잃음으로 막이 porous 하게 성장하여 그림 4에서의 x-선회절분석의 결과처럼 결정성이 현저하게 감소하기 때문으로 판단된다. 이는 분위기압이 증가함에 따라 막의 색이 주황색으로부터 갈색으로 바뀌는 것으로 부터도 알 수 있다.

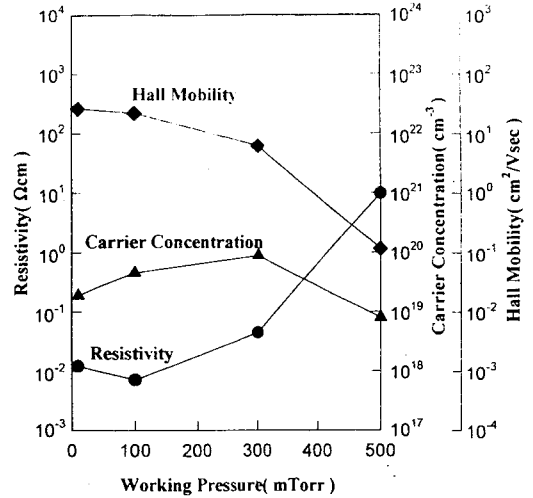


그림 7. 분위기압에 따른 CdS막의 비저항, 캐리어 농도 및 Hall 이동도의 변화

Fig. 7. Dependence of the resistivity, carrier concentration, Hall mobility of the CdS films on the working pressures.

4. 광학적 특성

그림 8은 CSVT법으로 증착된 CdS막의 기판온도에 따른 광투과도 특성의 변화를 나타낸 것이다. 기판온도가 증가함에 따라 광투과도가 개선됨을 볼 수 있다. 이때 소스온도는 730°C이며 분위기압은 100mTorr이다. 100mTorr에서 증착된 CdS막은 가시광 전영역에 걸쳐 65%이상의 광투과도를 나타내었다. 기판온도의 증가는 막질을 개선시켜 막내의 결정결함을 감소시켜 광투과도를 개선시키는 것으로 보인다. 이와함께 광투과도 곡선으로부터 기판온도가 증가함에 따라 광흡수단은 단파장쪽으로 약간 이동함을 볼 수 있다. 그림 8에서 광흡수계수를 구하여 광흡수계수의 제곱(α^2)과 $h\nu$ 의 관계를 그림 9에 나타내었다. 이 그래프에서 Tauc의 관계식 $\alpha \propto (h\nu - E_g)^{1/2}$ 으로부터 $\alpha^2 = 0$ 에서 외삽하여 광학적 밴드갭을 구할 수 있는데 기판온도가 증가함에 따라 광학적 밴드갭은 미세하게 증가하여 300°C에서의 광학적 밴드갭은 약 2.42eV로 나타났다. 광학적 밴드갭의 변화는 막내의 상태밀도에 따른 캐리어 밀도변화에 기인하는 것으로 보고되어 있다^[20].

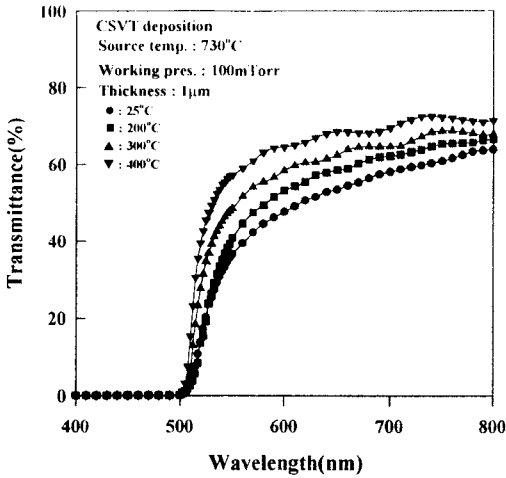


그림 8. 기판온도에 따른 CdS막의 광투과도 변화
Fig. 8. Transmittances of the CdS films deposited at different substrate temperatures.

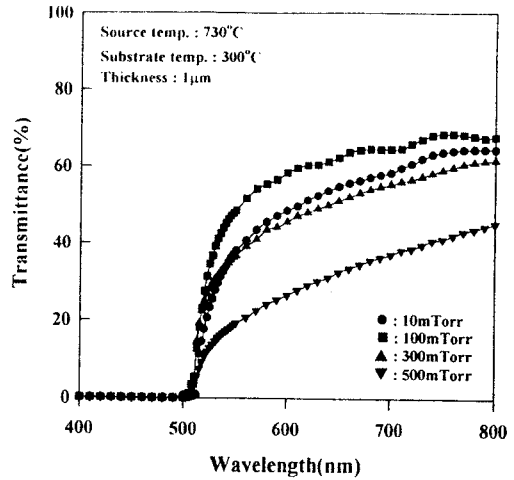


그림 10. 분위기압변화에 대한 CdS막의 광투과도 변화
Fig. 10. Transmittances of the CdS thin films deposited at different working pressures.

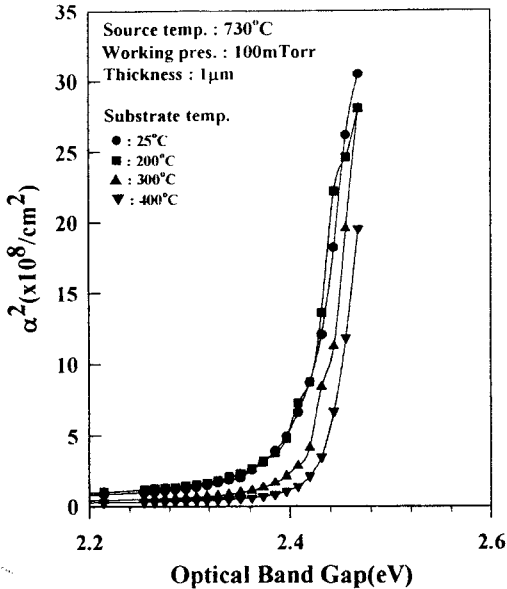


그림 9. 기판온도에 따른 CdS막의 광학적 밴드갭의 변화
Fig. 9. Optical band-gaps of the CdS films deposited at different substrate temperatures.

그림 10은 CSVT법으로 증착된 CdS막의 Ar분위기압에 따른 광투과도의 변화를 나타낸 것이다. Ar 분위기압이 증가함에 따라 광투과도는 현저하게 감소하여

500mTorr에서는 가시광영역에서 40%이하의 광투과도를 나타내었다. 이 경우 증착된 막의 색도 주황색에서 갈색으로 짙어지는데 이는 막내의 결정결함이 크게 증가하기 때문으로 판단된다. 이의 결과는 비저항의 현저한 증가와 x-선 회절패턴에서의 결정성의 감소와 일치하는 결과로 판단된다.

IV. 결 론

CdS/CdTe, CdS/CuInSe₂ 등 이중접합 태양전지의 재료로 적합한 CdS박막을 제조하기 위하여 기존의 진공 시스템을 개조한 CSVT증착시스템과 자체 제작된 새로운 CdS후막 소스를 이용하여 CSVT법으로 기판온도와 분위기압을 변화시켜 가면서 CdS막들을 제조하고 증착조건에 따른 CdS막의 전기적 및 광학적 특성을 구하였다. x-선회절분석결과 증착조건에 무관하게 고진공증착법으로 증착된 막에 비해 결정성이 현저하게 개선되었다. 모든 막이 육방정계구조로 (002)면으로의 성장이 관찰되었으나 SEM표면 및 단면사진으로는 개개의 입자의 성장을 관찰할 수 없었으며 마치 에피성장된 막처럼 평탄한 표면상태를 나타내었다. 또 기판온도가 증가함에 따라, 분위기압은 감소함에 따라 x-선회절분석에 따른 결정성은 증가하였다. 기판온도가 실온에서 300°C까지 증가함에 따라 캐리어농도는 $2.56 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ 에서

$4.52 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 로 감소하나 Hall 이동도는 $3.12 \times 10^{-2} \text{cm}^2/\text{Vsec}$ 에서 $2.27 \times 10^{19} \text{cm}^2/\text{Vsec}$ 로 현저하게 증가하여 기판온도증가에 따른 비저항의 감소가 막의 결정성 향상에 따른 Hall 이동도의 개선에 의한 것으로 나타났다. 분위기압이 100mTorr에서 증가함에 따라 x-선회절분석결과로부터 결정성의 현저한 감소가 관찰되었으며 이는 Hall 이동도의 현저한 감소로 나타나서 분위기압에 따른 비저항의 감소가 주로 Hall 이동도의 감소에 의한 것임을 나타내었다. 광투과도는 기판온도가 증가함에 따라, 분위기압이 감소함에 따라 증가하여 위의 결과를 간접적으로 확인시켜 주었다.

CSV T법으로 증착된 CdS막의 최적 증착조건은 소스온도 730°C, 기판온도 300°C, 기판과 소스의 간격 5cm, Ar가스분위기압 100mTorr였으며 이때 증착된 CdS막은 비저항이 $7.21 \times 10^{-3} \Omega \text{cm}$ 였으며 가시광 영역에서의 광투과도는 약 65%이상 이었다.

감사의 글

본 연구는 경상대학교 생산기술연구소의 지원으로 수행되었으므로 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] J. Dressner and F. V. Shallcross, "Crystallinity and Electronic Properties of Evaporated CdS Films", *J. Appl. Phys.*, Vol. 34, No. 8, pp. 2390-2395, 1963
- [2] Y. Sakai and H. Okimura, "Properties of Photoconductive CdS Evaporated Films," *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 3, pp. 141-149, 1964.
- [3] H. C. Card, "The Photoconductivity of Polycrystalline Semiconductor," *J. Appl. Phys.*, *Rev.*, Vol.97, pp. 1525-1530, 1981.
- [4] Shi Yul Kim, Dong Seop Kim, Byung Tae Ahn, Ho Bin Im, "Electrical and optical properties of vacuum-evaporated CdS films", *J. Materials science, Materials in electronics*, Vol.4, pp.178-182, 1993
- [5] S. Ray, R. Banerjee, "Properties of Vacuum-Evaporated CdS Thin Films," *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol.19, pp. 1889-1895, 1980.
- [6] Frank B. Micheletti and Peter Mark, "Effects of Chemisorbed Oxygen on the Electrical Properties of Chemically Sprayed CdS Thin Films," *Applied Physics Letters*, Vol.10, No.4 pp. 136-138, 1967.
- [7] Bernard J. Feldman and Jack A. Duisman, "Room-temperature photoluminescence in spray-pyrolyzed CdS", *Appl. Phys. Lett.* Vol. 37, No. 12, pp. 1092-1093, 1980.
- [8] Seiji Ikegami, "CdS/CdTe Solar Cells by the Screen-Printing-Sintering Technique : Fabrication, Photovoltaic Properties and Applications", *Solar Cells*, Vol. 23, pp.89-105, 1988
- [9] Shinchi Kuranouchi, Tatsuo Nakazawa, Atsushi Ashida, Nobuyuki Yamamoto, "Cadmium sulfide thin films prepared by chemical bath deposition method," *Solar Energy Materials and Solar Cells*, Vol.35, pp. 185-191, 1994.
- [10] Kazuo Ito, Kanechiro Shiraiishi, "Preparation conditions of CdS thin films by flowed liquid film method", *Solar Energy Materials and Solar Cells*, Vol. 35, pp. 179-184, 1994.
- [11] K. W. Mitchell, C. Eberspacher, F. Cohen, J. Avery, G. Duran and W. Bottenberg, "Progress Towards High Efficiency Thin Film CdTe Solar Cells", *Solarcells*, Vol.23, pp.49-57, 1988.
- [12] Yuan-Sheng Tyan, "Topics on Thin Film CdS/CdTe Solar Cells", *Solar cells*, Vol.23, pp.19-29, 1988 --CSV T CdS
- [13] A. L. Kowar, P. K. Shishodia, P. C. Mathur, "Growth of zinc selenide thin films, *Journal of Materials Science Letters*, pp. 561-562, 1989.
- [14] R. H. Bube, CdTe Junction Phenomena, *Solar Cells Vol. 23*, pp. 1-17, 1988.
- [15] Thomas C. Anthony, Alan L. Fahrenbrush, Michael G. Peters, and Richard H. Bube, "Electrical properties of CdTe films and junctions," *Solar Cells Vol.23*, pp.400-410, 1984.
- [16] 박기철, 심호섭, 김정규, "기판온도 및 열처리온도에 대한 CdS박막의 전기적 및 광학적 특성" *센서학회지*, 제 6권 2호, pp. 163-171

- [17] Ben G. Streetman, Solid State Electronic Devices, Prentice Hall, Inc., New York, pp.219-221, 1980.
- [18] R. W. Buckley and J. Woods, "Variations in the Resistivity of Evaporated Films of Cadmium Sulphide," *J. Phys. D: Appl. Phys., Vol. 6*, pp. 1084-1089, 1973.
- [19] V. Snejdarand J. Jefrbot, "Influence of substrate temperature on Basic Electronical Properties of CdSe Thin Films," *Thin solid Films Vol. 11*, pp. 289-298, 1972.
- [20] E. O. Kane, "Thomas-Fermi Approach to Impure Semiconductor Band structure" *Phys. rev., Vol. 131*, p. 79, 1963.

著 者 紹 介

박 기 철

『센서학회지 제6권 2호』 논문97-6-2-11, p.91참조
 현재 경상대학교 전자재료공학과 부교수.

심 호 섭

『센서학회지 제6권 2호』 논문97-6-2-11, p.91참조
 현재 진주산업대학교 시간강사.