

논문 97-6-2-11

## 기판온도 및 열처리온도에 대한 CdS 박막의 전기적 및 광학적 특성

박 기 철\*, 심 호 섭\*, 김 정 규\*

## Dependence of the Electrical and Optical Properties of CdS Thin Films on Substrate and Annealing Temperatures

Ki Cheol Park\*, Ho Seob Shim\*, Jeong Gyoo Kim \*

## 요 약

CSVT(close spaced vapor transport)증착시스템으로 태양전지의 창재에 적합한 CdS박막을 기판온도에 따라 증착하였으며, 실온에서 증착된 CdS박막을 온도를 변화시켜 가면서 열처리하였다. 증착 및 열처리후의 CdS박막의 구조적, 전기적 및 광학적 특성을 조사하였다. 증착조건에 무관하게 CdS박막들은 육방정계구조로 (002)면으로 기판에 수직으로 성장함을 확인하였다. 기판온도가 25°C에서 300°C까지 증가함에 따라 비저항은 60Ωcm로 부터  $2 \times 10^4 \Omega \text{cm}$  로 단순증가하였으며 기판온도 25°C에서 가시광영역에서의 광투과도가 80%정도로 가장 높았다. 열처리온도가 증가함에 따라 막내의 결결함의 증가에 따라 비저항은 현저하게 증가하였으며 광투과도는 현저하게 감소하였다.

## Abstract

CdS thin films for window material of solar cell were prepared by close spaced vapor transport deposition system and annealed at different temperatures. The structural, electrical, and optical properties of as-deposited and annealed CdS films were investigated as functions of substrate and annealing temperatures. The CdS thin films were grown perpendicularly to the substrate along the (002)plane with hexagonal structure regardless of the preparation conditions. The resistivity of the CdS film deposited was increased gradually from 60Ωcm for 25°C to  $2 \times 10^4 \Omega \text{cm}$  for 300°C. The optical transmittance at the substrate temperature of 25°C was about 80% in the the visible spectrum. The resistivity increased monotonically, and the optical transmittance was decreased substantially with annealing temperature due to the increased defect density in the CdS film.

## 1. 서 론

CdS(cadmium sulfide)는 박막화가 용이한 육방정계 구조의 n형 직접 천이형 II-VI족 화합물 반도체이다.

\* 경상대학교 전기전자공학부 및 항공기부품기술 연구 센터

(Division of Electrical & Electronic Engineering and Research Center for Aircraft Parts Technology, Gyeongsang National University)

<접수일자 : 1997년 1월 29일>

CdS 박막에 대한 연구는 두 방면으로 꾸준히 진행 되어 왔다. 하나는 가시광영역의 광탐지기에서의 광도 전막(photo-conductive film)으로서의 특성과 응용에 대한 연구<sup>1,2)</sup>이며, 다른 하나는 이중접합 태양전지의 창재(window material)로서의 특성과 응용에 대한 연구<sup>3,4)</sup>이다. 전자의 연구에서는 광도전성이 우수하고, 빠른 광응답 속도를 갖는 CdS 박막을 제조하는데 관심이 집중되어 있으며, 후자의 연구에서는 낮은 비저항

과 가시광영역에서의 높은 광투과도를 갖는 CdS 박막을 제조하는데에 관심을 가지고 있다. 본 연구에서는 이중접합의 창재로서의 CdS 막을 다루었다.

CdS박막의 제조에는 진공증착(vacuum evaporation), 분무 열분해(spray pyrolysis), 스퍼터링(sputtering), CVD(chemical vapor deposition), 스크린 프린팅(screen printing), CSVT(close spaced vapor transport)법 등이 있다.<sup>1-6)</sup> 이들 방법 중에서 CSVT법은 CdTe와 ZnSe 등의 막에 대해서는 다른 증착법에 비해 우수한 결정성과 비교적 낮은 비저항을 갖는 박막을 제조할 수 있는 것으로 알려져 있다.<sup>7-9)</sup> 그러나 CSVT법에 의한 단일 CdS막의 제조 및 특성에 대한 연구는 미약한 실정이다. CSVT법에 의해 양질의 CdS 박막을 얻을 수 있다면 같은 진공 증착시스템에서 1회 배기를 통하여 연속적으로 CdS 및 CdTe 막을 증착하여 보다 양질의 CdS/CdTe 이중접합 태양전지를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

본 논문에서는 창재로서 재현성 있는 CdS막을 증착하기 위하여 기존의 진공증착법을 개조한 CSVT증착시스템과 증착 동안 증착율이 일정한 증착용 CdS 후막소스 및 소스가열원을 제작하였다. 이 시스템을 이용하여 고진공에서 기판온도를 변화시켜 가면서 막을 증착한 후 최적조건에서 증착된 CdS막을 온도를 변화시켜 가면서 열처리하고 열처리 전후의 기판온도 및 열처리온도에 따른 막의 구조적, 전기적 및 광학적 특성을 규명하고자 하였다.

II. 실험 및 측정

CdS 후막소스는 CdS 분말(99.999% Aldrich Chem. Co.)과 적당량의 프로필렌 글리콜(propylene glycol : 99.9% Aldrich Chem Co.)을 혼합하여 페이스트로 만들고 1cm×1.5cm 크기의 몰리브덴 판에 스크린 프린팅하여 질소 분위기에서 분당 10℃의 온도로 상승시켜 300℃에서 1시간 동안 열처리하여 준비하였다.

일반적인 CSVT용 소스로는 단결정이나 분말을 사용하는 것이 일반적이나 단결정은 가격이 비싸며, 분말은 보트상에서 스패터링(sputtering)이 발생하므로 스패터링 방지용 스크린이 반드시 필요하며 시료의 소모가 많은 단점을 가지고 있다. CdS 후막소스를 사용한 경우에는 이러한 단점들을 개선할 수 있으며 1회 증착시 CdS 시료의 양을 수 mg이하로 수 μm이상의

막을 증착할 수 있다.

그림 1은 기존의 진공증착시스템을 개조하여 제작된 CSVT 증착시스템을 나타낸 것이다. 본 논문에서 사용된 CSVT 증착시스템은 기판과 소스 사이의 간격은 2mm에서 10cm까지 조절될 수 있다. 기판과 소스 사이에 셔터(shutter)를 설치하여 원하는 시간동안 원하는 온도구간에서 증착할 수 있도록 하였다. 800℃까지 조절 가능한 세라믹 히터를 자체 제작하여 소스 및 기판을 가열하였다. 기판온도는 기판표면에 K-형 열전대를 부착하여 측정하였다.

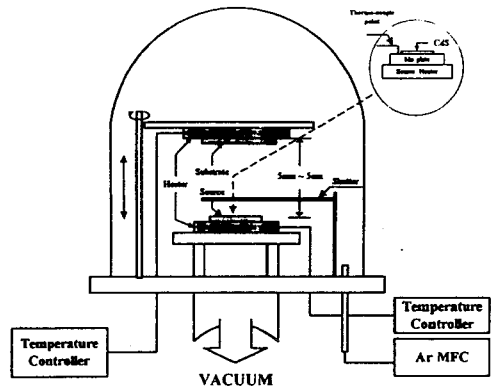


그림 1. CSVT증착시스템.  
Fig. 1. Schematic diagram of CSVT deposition system.

기판으로는 평판표시기용 코닝 글라스를 사용하였으며 일반 표준세척공정을 거친 후 질소 가스로 불고 오븐에서 30분간 건조시켰다. 증착전에 5×10<sup>-6</sup>Torr에서 300℃까지 가열하여 out-gassing하였다.

CdS 박막은 5×10<sup>-6</sup>Torr의 고진공에서 증착하였으며 예비실험을 통하여 소스온도와 소스와 기판사이의 거리는 각각 670℃ 및 5cm로 결정하였다. 기판온도는 25℃~400℃로 100℃간격으로 변화시켰다. 증착된 CdS막은 질소분위기에서 100℃간격으로 200℃에서 600℃까지 2시간 동안 열처리하였다.

기판온도 및 열처리온도에 따른 결정성 및 결정구조 등을 조사하기 위해 x-선회절기(Jeol, Co. Japan)를 사용하였으며 이때 회절각 2θ는 20°에서 80°까지 변화시켰다. CdS막의 비저항은 전극간 간격을 2mm로 하여 저항성접촉을 위해 In과 Ag를 연속적으로 증착시키고 일렉트로미터(Keithley, Co. USA)를 사용하여

저항을 측정하고  $R = \rho L/A$ 의 식으로부터 계산하였다. CdS막의 광투과도는 UV-Vis 분광광도계를 사용하여 400nm에서 800nm의 가시광영역에서 측정하였다. 광투과도 특성으로부터 광흡수계수  $\alpha$ 를 구하고  $\alpha \propto (h\nu - E_g)^{1/2}$ 의 식으로부터 외삽하여 광학적 밴드갭도 구하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 증착율

그림 2는 기판온도를 25°C, 소스온도를 670°C, 기판과 소스사이의 거리를 5cm로 고정하고 증착한 경우 증착시간에 따른 CdS박막의 두께변화를 나타낸 것이다. 본 연구에서 사용된 CdS소스를 사용하는 경우 일반 진공증착에 비해 증착율이 비교적 낮았다.<sup>3,4)</sup>

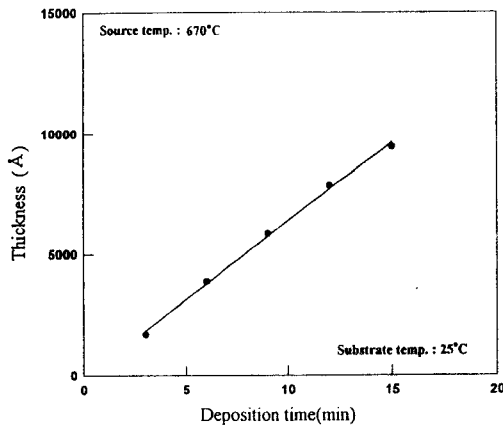


그림 2. CdS막의 증착 시간에 따른 두께의 변화.  
Fig. 2. Dependence of thickness of CdS thin film on deposition time.

그러나 R. W. Buckley<sup>10)</sup> 등에 의한 진공증착에 비해서는 훨씬 높은 증착율을 나타내었다. 소스에 직접 전류를 공급하지 않고 소스를 간접가열하므로 증착하는 동안 온도가 일정하여 두께증가에 무관하게 증착율이 거의 일정하였다. 이는 일반진공증착에서의 문제점인 증착시간에 따른 증착율의 변화 문제를 개선시켜 증착율의 재현성을 크게 향상시킨 것으로 판단된다. 실온의 기판온도에서 증착된 CdS 막은 소스온도가 670°C일때 증착율은 약 650Å/min였으며 증착시간에

따라 거의 선형적으로 증가하였다.

그림 3은 소스온도를 670°C로 고정하고 증착한 CdS막의 기판온도에 따른 증착율의 변화를 나타낸 것이다. 기판과 소스사이에서 셔터를 설치하여 증착이 시작되는 시점에서 셔터를 열고 소스의 CdS가 적당량 남아 있을 때 셔터를 닫아 증착시간에 대한 두께의 변화분 (Å/min)으로 증착율을 구하였다. 기판온도가 증가함에 따라 증착율이 거의 선형적으로 감소하였다. 이것은 기판온도가 증가함에 따라 기판에 증착되는 원자들의 표면이동도가 증가하여 증착된 막이 더 밀도높게 성장하기 때문으로 판단된다.

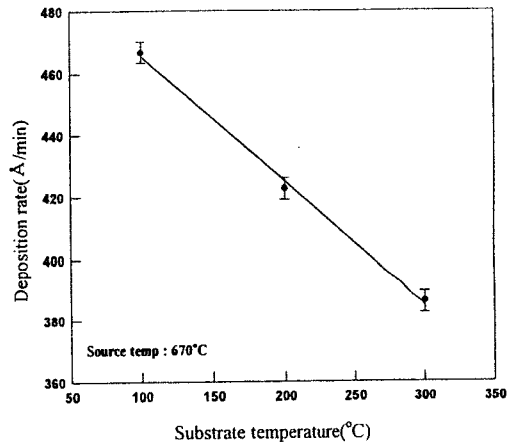


그림 3. CdS막의 기판온도에 따른 증착율.  
Fig. 3. Dependence of deposition rate on substrate temperature.

#### 2. 구조적 특성

그림 4는 CdS 분말의 x-선 회절 스펙트럼 및 소스온도를 670°C, 소스와 기판사이의 거리를 5cm로 고정시켜 증착한 CdS 박막의 두께가 7800Å인 경우 기판온도에 대한 x-선회절 스펙트럼의 변화를 나타낸 것이다. CdS 분말의 회절스펙트럼은 JCPDS 카드 41-1049와 일치하는 피크들을 나타내어 이 분말이 육방정계구조임을 알 수 있었다. 제조된 CdS 소스의 x-선회절 스펙트럼도 CdS분말과 완전히 일치하였다.

기판온도 변화에 따른 회절스펙트럼의 변화에서 기판온도가 증가함에 따른 (002)면에 대한 피크의 증가는 관찰되지 않았다. 기판온도 300°C에서의 피크의 감소는 증착도중에 소스의 CdS가 물리브렌 판으로부터

터 격리되어 막의 두께가 4600Å으로 다른 막에 비해 훨씬 얇아졌기 때문이다. 400°C 이상에서는 증착된 막으로부터 재증발(reevaporation)이 일어나 막이 증착되지 않았다.

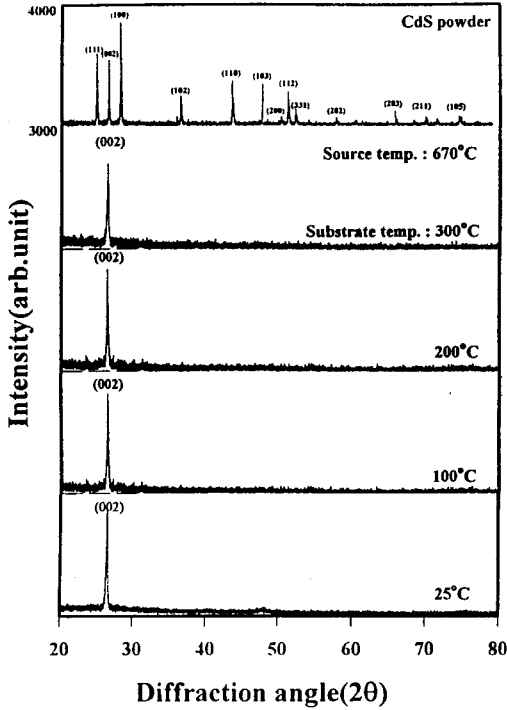


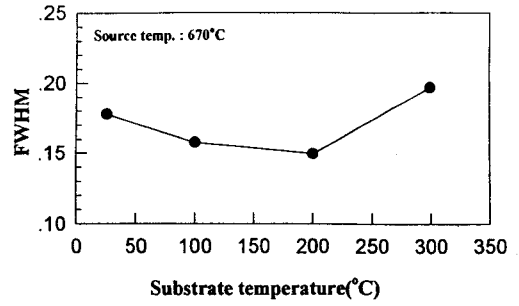
그림 4. CdS막의 기판온도에 따른 XRD 스펙트럼의 변화.

Fig. 4. X-ray diffraction spectra for the CdS powder and CdS films deposited at different substrate temperature.

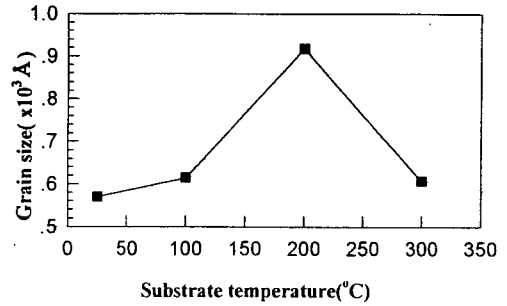
그림 5는 그림 4의 x-선 회절 스펙트럼으로 구한 기판온도에 따른 반치폭(full width at half maximum)과 다음과 같이 주어지는 Scherrer의 식으로부터 구한 결정입자의 크기를 나타낸 것이다.

$$t = \frac{0.9 \lambda}{B \cos \theta_B}$$

여기서 λ는 x-선의 파장을 B는 반치폭을, θ<sub>B</sub>는 최대피크에서의 회절각을 나타낸다. 200°C까지는 반치폭이 미세하게 감소하며, 이에 따라 결정입자의 크기는 570 Å으로부터 920 Å으로 증가하였으며, 300°C에서는 얇아진 두께로 인하여 결정입자의 크기가 크게 감소하였다.



(a)



(b)

그림 5. CdS막의 기판온도에 따른 (a)반치폭과 (b)입자의 크기 변화.

Fig. 5. Variation of (a)FWHM and (b)grain size of CdS thin films deposited at different substrate temperatures.

그림 6은 소스온도를 670°C, 소스와 기판의 거리를 5cm, 기판온도를 실온으로 하여 증착된 CdS막막을 온도를 달리하면서 질소분위기에서 2시간동안 열처리한 시편들의 x-선 회절패턴을 나타낸 것이다. 300°C까지는 (002)피크의 크기 변화가 관찰되지 않았으나 그 이상의 온도에서는 최대피크의 크기가 미세하게 감소하였다.

열처리온도가 증가함에 따라 증착된 막은 주황색으로부터 짙은 갈색으로 변하는데 이는 열처리 온도의 증가에 의해 막내의 격자결함의 증가에 의해 복합 트랩준위가 생기기 때문이라 생각되며 x선 회절피크의 감소와도 일치하는 결과이다.

그림 7은 그림 6에서 구한 반치폭 및 Scherrer의 식에서 구한 결정입자의 크기 변화를 나타낸 것으로 300°C 이상의 열처리 온도에서 반치폭은 증가하였으며 이에 따라 결정입자의 크기는 감소한 것으로 나타났다.

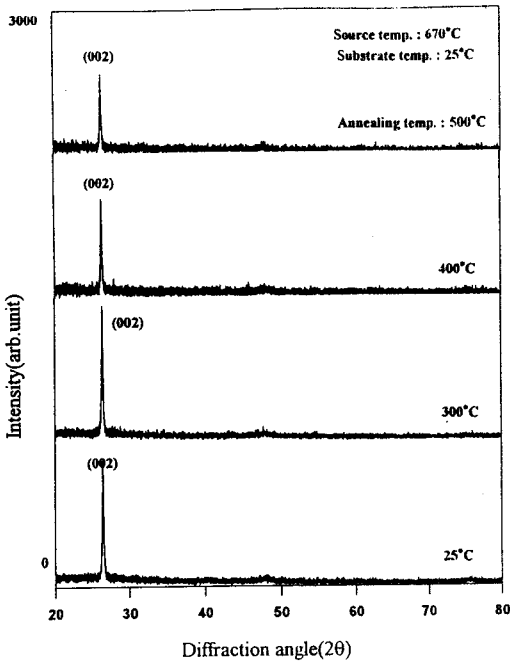


그림 6. CdS막의 열처리 온도에 따른 XRD스펙트럼의 변화.

Fig. 6. X-ray diffraction spectra for CdS films annealed at different temperatures.

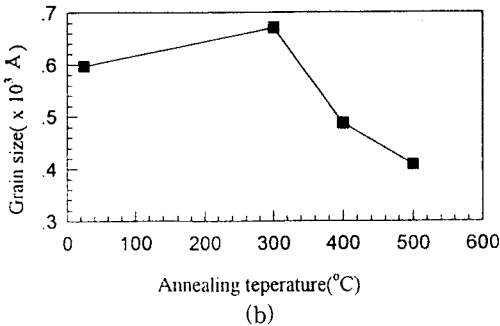
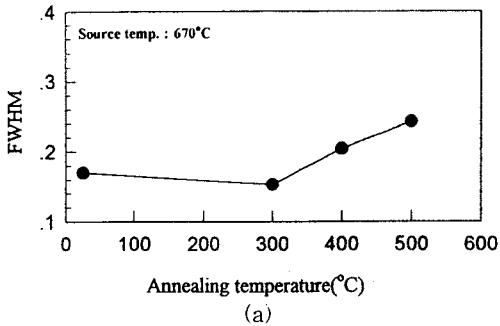


그림 7. CdS막의 열처리온도에 따른 (a)반치폭과 (b)입자의 크기 변화.

Fig. 7 Variation of (a)FWHM and (b)grain size of CdS thin films annealed at different temperatures.

### 3. 전기적 특성

그림 8은 CdS 박막의 기판온도에 따른 비저항의 변화를 나타낸 것이다. 기판온도가 증가함에 따라 비저항은 현저하게 증가하였다. 이는 기판온도에 따른 진공증착된 II-VI족 화합물 반도체 박막의 비저항의 변화를 규명한 여러 연구들과 일치하는 결과이다.<sup>9,12)</sup>

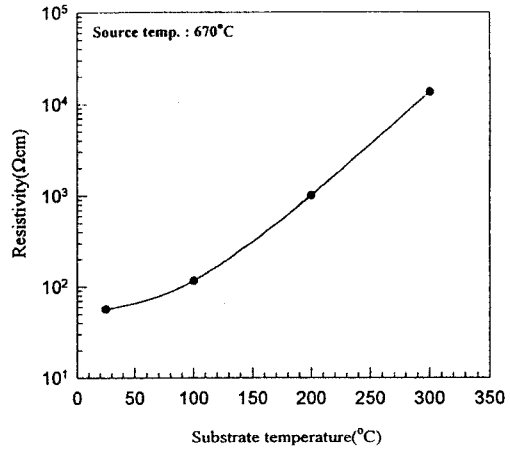


그림 8. CdS막의 기판온도에 따른 비저항의 변화.  
Fig. 8. Dependence of the resistivity of CdS thin films on substrate temperatures.

CdS는 증착하는 동안 Cd와 S로 분해되고 기판표면에서 다시 Cd와 S가 반응하여 응축되면서 박막이 형성된다. 이 때 기판온도가 두 원소의 응축계수(condensation coefficient)를 변화시켜 막의 화학 양론적인 조성을 변화시키는 것으로 보고되고 있으며 일반적으로 기판온도의 증가에 의해 CdS 박막은 더욱 화학 양론적으로 된다. 일반적으로 CdS박막의 비저항은 도우너를 형성하는 박막내의 과잉 Cd나 결핍 S가 결정하게된다. 이를 R. W. Buckley등<sup>10)</sup>과 S. Y. Kim 등<sup>11)</sup>은 기판온도가 증가함에 따라 Cd원자의 부착계수(sticking coefficient)가 감소하여 증착된 CdS막이 더 화학 양론적으로 되기 때문에 증착된 CdS막의 비저항이 증가되는 것으로 설명하고 있으며 이는 본 논문에서의 결과와 일치하고 있다. 기판온도를 실온으로 하고 소스온도를 670°C로 하여 증착한 막의 비저항이 60Ωcm로 일반 진공증착시스템에 의해 증착된 CdS 막에 비해서는 비저항이 현저하게 감소하였다.

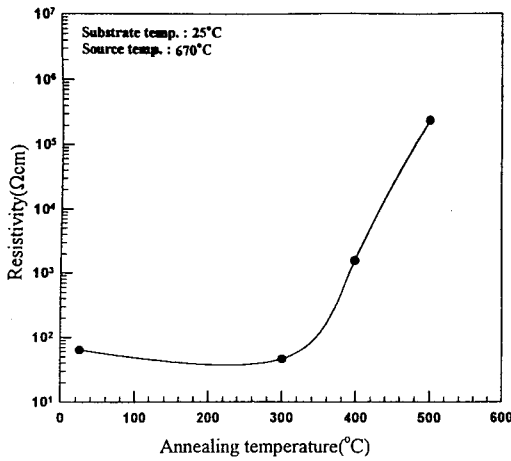


그림 9. CdS막의 열처리온도에 따른 비저항의 변화.  
Fig. 9. Variations of the resistivity of CdS films annealed at various temperatures.

그림 9는 소스의 온도를 670°C로 고정하고 실온의 기판온도에서 증착한 CdS 박막의 열처리 온도에 대한 비저항의 변화를 나타낸 것이다. 열처리시 분위기는 질소였으며 열처리 시간은 2시간으로 고정하였다. 열처리온도가 300°C 이상으로 증가함에 따라 비저항의 증가가 현저하게 나타나서 500°C의 온도에서 열처리된 CdS막의 비저항은  $2.34 \times 10^5 \Omega \text{cm}$ 였다. 600°C에서는 막의 증발(evaporation)이 관찰되었다. 열처리전의 시편의 색은 주황색에 가까웠으나 열처리온도가 300°C 이상으로 증가함에 따라 짙은 흑갈색으로 변하였다. 이는 300°C 이상의 열처리온도에서는 CdS막내의 격자결함이 증가하여 금지대내에 복합적인 트랩준위를 형성하기 때문으로 판단된다. 이는 300°C 이상의 열처리온도에서 x-선 회절피크의 감소와도 일치하는 결과로 격자결함의 증가로 막의 결정성이 나빠졌기 때문이다. S. Ray 등<sup>3)</sup>은 진공증착된 CdS막을 공기중에서 열처리한 경우 비저항이 2승 이상 증가함을 관찰하였는데, 이는 CdS내에 산소원자가 들어와 acceptor 준위를 형성하여 donor 준위를 일부 보상하기 때문으로 설명하고 있다. 또 광투과도 곡선으로 부터 구해진 결과에서도 격자결함으로 인하여 가시광영역에서 광투과도가 현저하게 감소한 결과와도 일치하는 것으로 보인다.

4. 광학적 특성

그림 10은 기판온도 변화에 대한 CdS막의 광투과

도 특성을 나타낸 것이다. 이 때 소스온도 및 소스와 기판사이의 거리는 각각 670°C 및 5cm로 하였다. 기판온도의 증가에 따른 광투과도의 현저한 변화는 관찰되지 않았다. 광투과도의 진동은 박막의 간섭효과에 의해 나타난다. 가시광 전영역에 걸쳐 60% 정도의 광투과도를 나타내었다.

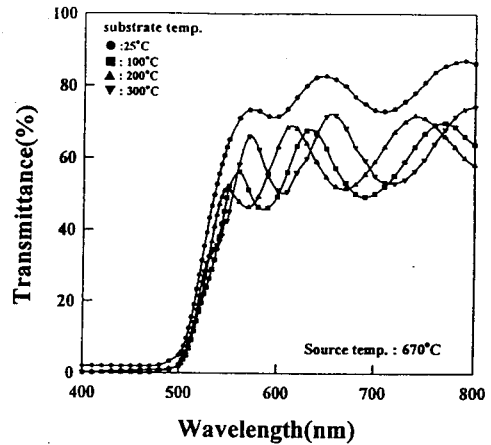


그림 10. CdS막의 기판온도의 변화에 따른 광투과도의 변화.  
Fig. 10. Transmittances of the CdS thin films deposited at different substrate temperatures.

그림 11은 그림 10에서 구한 광흡수계수의 제곱 ( $\alpha^2$ )과  $h\nu$ 의 관계를 나타낸 것이다.  $\alpha^2=0$ 에서 삼하여 구한 기판온도 실온에서 증착된 CdS 박막의 광학적 밴드갭은 2.4eV였다.

그림 12는 소스온도를 670°C, 기판온도를 실온, 소스와 기판사이의 간격을 5cm로 하여  $5 \times 10^{-6}$ Torr의 진공에서 증착된 CdS 박막에 대하여 온도를 변화시켜 가면서 열처리한 경우의 광투과도 특성을 나타낸 것이다. 열처리온도가 증가함에 따라 광투과도가 현저하게 감소하였으며 이러한 결과는 S. Ray 등이 일반 진공증착법으로 증착한 CdS 박막에 대한 열처리 결과와 일치한다. 300°C 이상의 열처리온도에서의 광투과도의 현저한 감소는 열처리에 따른 막내의 격자결함에 의한 에너지준위가 에너지 밴드갭내에 형성되기 때문인데 이는 열처리온도에 따라 CdS막의 색이 연한 주황색에서 짙은 갈색으로 바뀌는 것과 비저항이 증가하

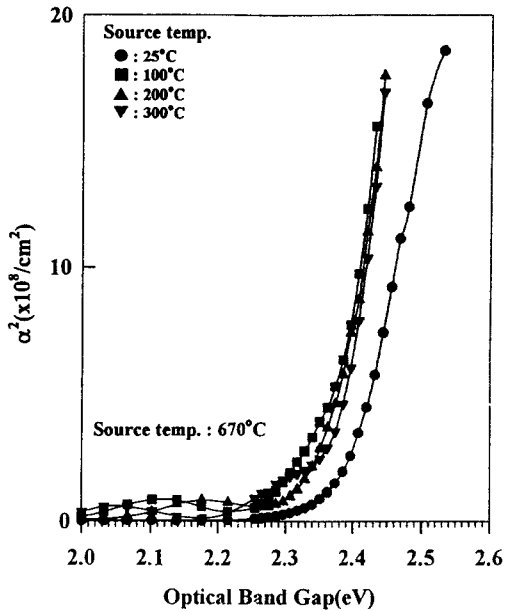


그림 11. CdS막의 기판온도의 변화에 따른 광학적 밴드갭의 변화.  
 Fig. 11. Variations of the optical band gap of the CdS films deposited at different substrate temperatures.

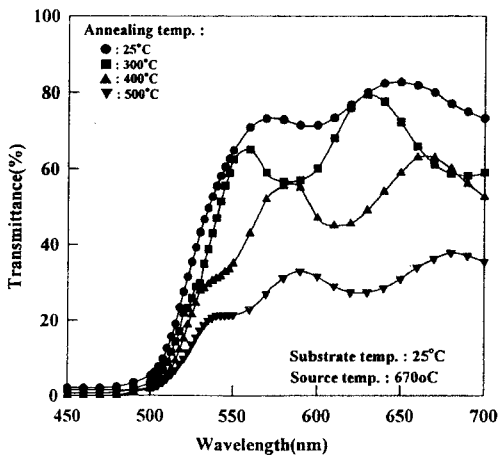


그림 12. CdS막의 열처리온도에 따른 광투과도의 변화.  
 Fig. 12. Transmittances of the CdS thin films annealed at different temperatures.

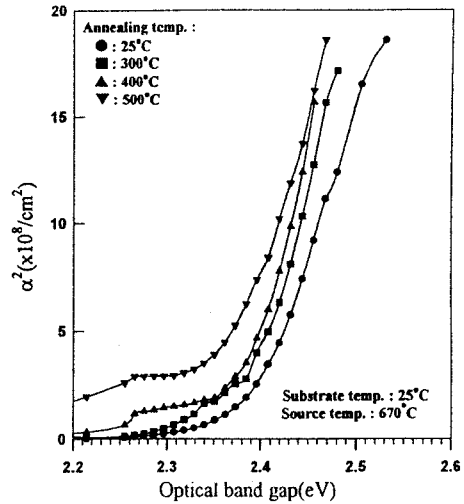


그림 13. CdS막의 열처리 온도에 따른 광학적 밴드갭의 변화.  
 Fig. 13. Variations of the optical band gap of the CdS films annealed at different temperatures.

는 것과도 일치된다. 이외에도 S. Y. Kim 등<sup>11)</sup>은 낮은 기판온도와 높은 증착율의 조건에 따른 현저한 광투과도의 감소를 관찰하였으며 열처리된 CdS박막의 색 변화(주황색에서 짙은 갈색으로) 및 비저항 변화에서도 열처리한 막과 유사한 결과를 얻었다.

그림 13은 광학적 밴드갭을 구하기 위한 곡선을 나타낸 것이다. 열처리온도가 500°C로 증가함에 따라 광학적 밴드갭은 약 2.4eV에서 2.35eV로 현저하게 낮아지는 밴드갭 축소효과(band gap narrowing effect)를 나타내었다.

밴드갭 축소효과는 불순물의 임의적 분포에 의해 국부적 전위의 변동이 발생하고 이것이 주 에너지밴드 끝단에 에너지 상태밀도의 꼬리(density of state tails)를 만들기 때문으로 보고하고 있다. 이러한 상태밀도의 꼬리는 막내의 캐리어 밀도에 의존적이다.<sup>11,13)</sup>

#### IV. 결론

태양전지용 창재에 적합한 CdS 박막을 제조하기 위해 CSVT 증착시스템과 CdS 후막소스를 제작하였다. 이를 이용하여 CdS박막을 증착하고 증착조건 변화에

다른 구조적, 전기적 및 광학적 특성을 조사하였다. CdS 후막소스의 사용으로 증착시간동안 거의 일정한 증착율을 얻을 수 있었다. X-선 회절분석 결과, 대부분의 막이 증착조건에 무관하게 육방정계구조를 가지며 기판에 수직인 (002)면으로의 성장이 관찰되었다.  $5 \times 10^{-6}$ Torr의 고진공에서 증착된 CdS막의 경우, 기판온도가 실온에서 400°C로 증가함에 따른 x-선 회절피크, 광투과도 및 광학적 밴드갭의 변화는 거의 관찰되지 않았다. 기판온도가 실온에서 300°C로 변화함에 따라 비저항은 화학양론적 조성이 되어 60Ωcm에서  $1.35 \times 10^4 \Omega\text{cm}$ 로 현저하게 증가하였다.

$5 \times 10^{-6}$ Torr의 진공에서 증착된 CdS 막의 최적 조건에서의 기판온도와 소스온도는 각각 실온 및 670°C였다. 최적 조건에서 증착된 CdS 막의 비저항은 60Ωcm 정도로 일반적인 진공증착법에 비해서는 상당히 낮은 값을 나타내었다. 광투과도는 가시광영역에서 70% 이상이었으며 광투과도곡선으로 부터 구한 광학적 밴드갭은 약 2.4eV였다. 최적조건에서 증착된 CdS막막을 온도를 변화시켜 가면서 열처리한 결과, 열처리온도가 증가함에 따라 비저항은 현저하게 증가하였으며, 500°C에서 약  $2.34 \times 10^5 \Omega\text{cm}$ 로 4승 정도의 변화를 나타내었으며, 광투과도는 70%에서 30%로 현저하게 감소하였다. 뿐만아니라 광학적 밴드갭도 2.35eV로 감소되었다. 이러한 결과는 열처리 온도가 증가함에 따라 막내의 격자결함의 증가로 해석된다.

### 감사의 글

본 연구는 경상대학교 생산기술연구소 간접연구경비 연구장려금과 항공기부품기술연구센터의 일부지원에 의해 수행되었습니다.

### 참 고 문 헌

- [1] Y. Sakai and H. Okimura, "Properties of Photoconductive CdS Evaporated Films," *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 3, pp. 141-149, 1964.
- [2] H. C. Card, "The Photoconductivity of Polycrystalline Semiconductor," *J. Appl. Phys., Rev.*, Vol.97, pp. 1525-1530, 1981.
- [3] S. Ray, R. Banerjee, "Properties of Vacuum-Evaporated CdS Thin Films," *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol.19, pp. 1889-1895, 1980.
- [4] A. L. Dawar, P. K. Shishodia, A. Kumar, and P. C. Mathur, "Fabrication of low resistive CdS thin films", *Thin solid Films*, Vol.20, pp.L1-L5, 1991.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] A. L. Dawar, P. K. Shishodia, P. C. Mathur, "Growth of zinc selenide thin films," *Journal of Materials Science Letters*, pp. 561-562, 1989.
- [8] R. H. Bube, CdTe Junction Phenomena, *Solar Cells Vol. 23*, pp. 1-17, 1988.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] Shi Yul Kim, Dong Seop Kim, Byung Tae Ahn, Ho Bin Im, "Electrical and optical properties of vacuum evaporated CdS films," *Journal of materials science materials* Vol.4 pp. 178-182, 1993.
- [12] V. Snejdar and J. Jerbot, "Influence of substrate temperature on Basic Electrical Properties of CdSe Thin Films," *Thin solid Films Vol. 11*, pp. 289-298, 1972.
- [13] E. O. Kane, "Thomas-Fermi Approach to Impure Semiconductor Band Structure", *Phys. rev.*, Vol. 131, pp.79-88, 1963.



著 者 紹 介



**朴 基 徹**

1959년 3월 25일생. 1982년 경북대학교 전자공학과 졸업(학사). 1984년 동대학원 졸업(공학석사). 1988년 동대학원 졸업(공학박사). 1989년-현재 경상대학교 전자재료공학과 부교수. 주관심분야 : 박막

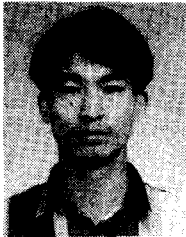
공정 및 박막소자, 광센서 및 가스센서, 태양전지.



**金 正 圭**

1960년 3월 4일생. 1983년 경북대학교 전자공학과 졸업(학사). 1985년 한국과학기술원 대학원 졸업(공학석사). 1989년 동대학원 졸업(공학박사). 1989년-1991년 금성일렉트론에서 16MDRAM개발담당.

1991년-현재 경상대학교 전자재료공학과 조교수. 주관심분야 : ULSI Si소자 및 공정, 가스센서 및 시스템, 태양전지



**沈 皓 燮**

1967년 5월 24일생. 1994년 경상대학교 전자재료공학과 졸업(학사). 1997년 동대학원 졸업(공학석사). 현재 진주 산업대학교 시간강사. 주관심분야 : 광센서, 태양전지, 가스센서,