

## CdS 박막의 광전도 특성에 미치는 활성화제의 영향

전 춘 생 · 정 재 진

인하대학교 공과대학 전기공학과  
인하대학교 대학원 전기공학과

### The Effect of Activator on the Photoconductive Characteristics of CdS Thin Film

#### 요 약

본 논문은 순수한 CdS 박막시편에 미소량의 불순물(활성제)을 첨가하고 각 시편에 대한 파장(380-760nm) 및 온도변화(120-360°K)에 따른 전기적 특성을 비교, 조사 하였다. 그 결과는 다음과 같다.

- 1) 순수한 CdS 박막의 경우 열처리함에 따라 저항이 증가 하였으며 분광응답의 최대치는 더욱더 장파장쪽으로 이동하였다.
- 2) 여러가지 일정한 온도에서 여러가지 파장의 광을 조사하였을때 실온도에서 보다는 저온도(160°K)에서 민감한 광응답특성을 나타냈다.
- 3) 불순물의 첨가량이 0.5wt%일 때 비교적 양호한 광응답특성을 나타내고 있다.

#### ABSTRACT

In this paper, the electrical characteristics of CdS thin films doped with a little of impurities(activators) are studied on wavelength(380-760nm), and temperature(120-360 K).

These results are as follows.

- 1) The resistance of pure CdS thin film increases by annealing, and maximum response value of wavelength is shifted to the long wavelength.
- 2) The spectral responses of light are more sensitive in low temperature(160K) than in room temperature.
- 3) Characteristics of the spectral response of light are improved by doping with 0.5wt % impurity

## I. 서 론

여러가지 센서중에서 광센서는 가장 종류가 다양하고 광범위하게 이용되고 있다. 최근, 정보처리 능력의 확대와 고속도화가 요구되고 있는 현실에 비추어 광통신에 기여하는 기대값이 대단히 크다.<sup>1)</sup>

Photoelectronics가 발전함에 따라 광 Device가 공업계나 일상 생활용 전자기기로서도 많은 주목을 끌고 있다. 광센서를 사용하는데 있어서 가장 중요한 것은 그 센서가 감지할 수 있는 광의 파장이다.

본 연구에서는 가시광 영역에서 광 감도가 가장 좋은 CdS 광센서 국산개발에 그 목적을 두고 있다. CdS 증착막의 광전도효과에 대한 연구는 1947년 처음으로 R. Frerichs<sup>2)</sup>에 의해 시작되었다. CdS 광센서는 1955년 R.H. Bube<sup>3)</sup>가 소결형 CdS 광전도 Cell을 개발한 이후부터 실용화 단계에 들어갔다.

그후 몇년이 지난 1966년 R. R. Chamberlin<sup>4)</sup>이 CdS 박막을 광전변환소자에 R. R. Cook와 R. W. Christy<sup>5)</sup>가 다결정성 CdS 박막의 광특성에 대해 실험한 결과도 있어 점차 더욱 활발한 연구개발이 이루어질 것으로 전망된다.

그러나 CdS는 승화할 때 해리도가 높아<sup>6)</sup> 양호한 박막을 얻기가 어렵다는 것이 시편 제작상의 애로점이 되는 것이다. 앞으로 이 문제에 대한 많은 제작상의 연구가 필요하다고 본다.

본 연구에서는 외란광(태양광, 조명광)에 대한 영향을 최소한도로 감소시키고 광을 조사치 않았을 때와 광을 조사하였을 때의 전류비를 크게 하기 위하여 저온도 분위기하에서 실험하였다. CdS 광센서는 적당한 파장의 광을 반도체표면에 조사시킬때 캐리어가 가전자대에서 전도대로 여기되는 현상을 이용한 것이며 소형, 장수명, 비속응답 및 양호한 분광응답특성을 가져야 한다.

일반적으로 박막은 작성법<sup>7), 8), 9)</sup>에 따라 전기적 성질은 물론이고 화학적, 물리적 특성도 달라질

수 있다. CdS 박막의 제작법으로는 진공증착법(Vacuum evaporation method), 스퍼터링 법(Sputtering method)과 같은 물리적인 방법과 기상증착법(Vapor phase method)과 같은 화학적인 방법등으로 구별할 수 있다. 과거에 Cu나 Ag에 대한 불순물의 첨가효과는 이미 보고된 바 있어<sup>10)</sup> 같은 주기율표에 속하는 Au를 첨가하여 실험해 본 결과, 양호한 광응답 특성을 얻을 수 있었다.

본 연구에서는 진공증착법으로 n형 반도체인 CdS 박막을 만들고, 거기에 미소량의 불순물을 첨가하여 CdS 박막시편을 제작하였고 광센서로서의 광전도효과를 비교, 검사하였다.

## II. 실험방법 및 장치

### 1. 실험장치

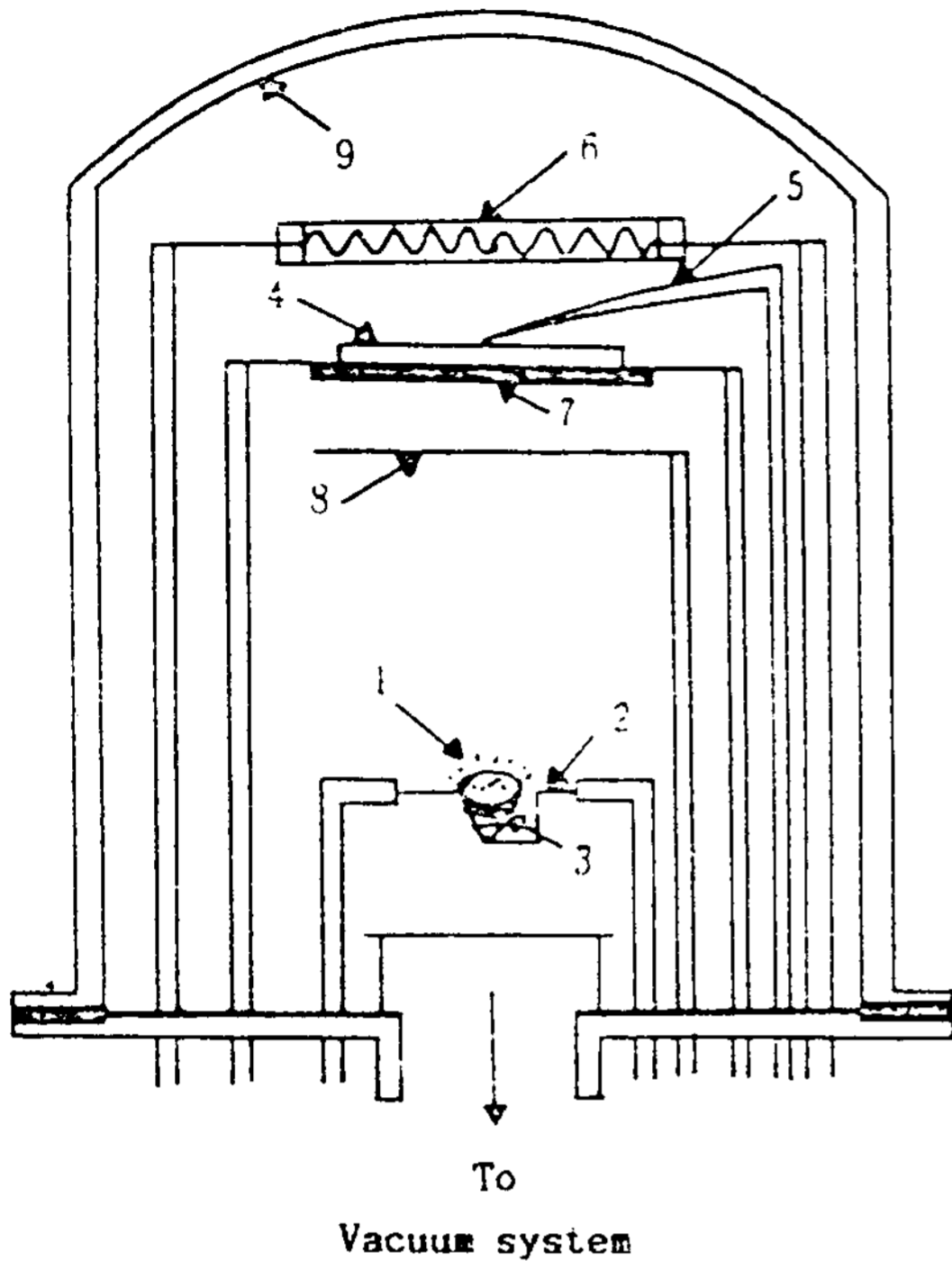
본 실험에 사용된 진공장치는  $1 \times 10^{-6}$  torr의 진공도를 유지할 수 있는 것으로, Bell jar 내부구조는 그림 1와 같다.

본 실험에 사용된 Test chamber는 제작한 것이며, Test chamber의 구조도는 그림 2과 같다.

Test chamber의 높이와 직경은 각각 30 및 24cm로 하였다. 외부로부터 들어오는 광을 차단시키기 위하여 Test chamber 외부에 검정색의 락카칠을 하였고, Test chamber 내부와 대기와의 열전도를 방지하기 위해 단열재를 사용하였다. 그리고, 광을 조사시키는 곳은 투과율이 양호한 얇은 석영판으로 되어 있는 window를 사용하였다.

본 실험에 사용된 주요 실험기기는 다음과 같다.

- 1) Electrometer(美, Keithly Instruments Co., 10-10<sup>-14</sup>, A. Type 610C)
- 2) D. C. Power Supply(정전압, 정전류)
- 3) Digital Thermometer(日, Yokogawa Electronic Co., -200-1370°C, Type 2572)
- 4) Test Chamber Edwards, 330l/min.)



- 1. Material source(CdS) 2. Tungsten heater
- 3. Quartz pot 4. Substrate
- 5. Thermocouple 6. Substrate heater
- 7. Mask 8. Shutter 9. Bell jar

Fig. 1 The schematic diagram of vacuum evaporation system

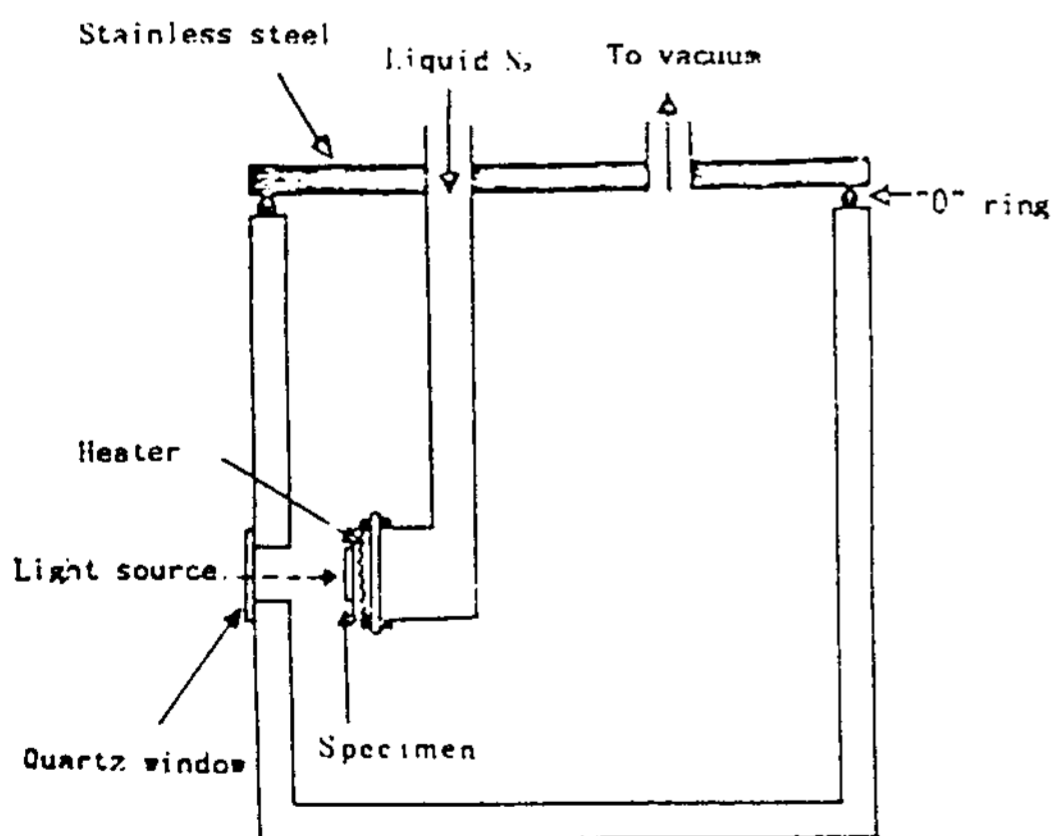


Fig. 2 The schematic diagram of test chamber

- 5) 유희전 펌퍼(英, Bauch · Lomb Co.)
- 6) Monochrometer(美, Bauch · Lomb Co.)

7) Oscilloscope(日, Araon, BS 601)

## 2. 시편제작

증발물질은 99.99% (美, Adrich Chemi, Co.)의 CdS를 사용하였으며, CdS를 진공증착한 다음 미소량의 불순물(Cu, Au)을 첨가하였다. 히타와 기판(slide) 사이의 거리는 약 17cm로 유지하고, 그 중간에 설치된 Shutter를 사용하여 증착시간을 조절하였다. 증발원히타는 Tungsten wire (0.55mm×3분을 Spira)형으로 감고 이 내에 석영 Pot를 만들어 넣어 간접가열하였다. Substrate 히타로는 Tungsten halogen lamp에 반사갓을 설치하여 기판의 온도를 조정하였으며, 기판의 온도는 열전대(Chromel-Alumel)를 사용하여 측정하였다. 증착하기 이전에 기판의 온도를 약 400°C로 1시간 동안 기시켜 기판의 불순물을 소거하였으며, 증착시의 기판온도를 180-200°C로 유지하였다.

이때, Bell jar 내부의 진공도는  $5 \times 10^{-6}$  torr이다. 기판으로 사용한 Slide glass는 중성세제를 사용하여 기판의 지방분을 제거한 후, 초음파세정을 하고 흐르는 물에 세척한 다음 증류수, 아세톤으로 닦아냈다. 항온단에 넣어 약 200°C로 30분정도 건조시켜 사용하였다. 기판에 증착된 CdS박막의 결정성을 높임과 동시에 결정입자를 성장시키기 위하여 시편을 공기중에서 400°C로 열처리 하였으며, 온도상승시간, 하강시간을 서서히 조절하였다. 증착막의 크기는 10mm×10mm로 제작하였다. 막의 두께는 CdS 기판위에 Al을 증착하고 단색광의 다중간섭현상을 이용한 Interferometer로 CdS 박막의 두께를 측정한 결과, 0.45-1.2 $\mu$ 의 두께를 얻을 수 있었다. CdS 박막과 전극간에 Ohmic contact를 유지하는데 양호한 물질로서는 Ga, In 등<sup>13)</sup>이 있는데, 본 실험에서는 증착이 용이한 In 증착을 하여 Silver paste로 리드(Lead)선을 접속하였다.

이때, Ohmic contact를 확인하기 위해 Oscilloscope를 사용하였다.

### 3. 실험방법

CdS 박막시편의 광감도특성을 측정하기 위하여 Test chamber 내부에 시편을 넣은 다음, 공기중의 습기나 다른 물질의 영향을 줄이기 위하여 유희전 펌퍼로 진공시켰다. 측정회로도 는 그림 3와 같다. 그림 3와 시편의 온도변화, 광의 파장에 따른 전류를 Electrometer로 측정하여 시편의 광응답 특성을 조사할 수 있었다. 광을 조사치 않았을 때의 전류변화를 측정한 다음, CdS 박막시편이 민감한 반응을 나타낸 가시광선 (380-760nm) 범위에서 변화시켰다.

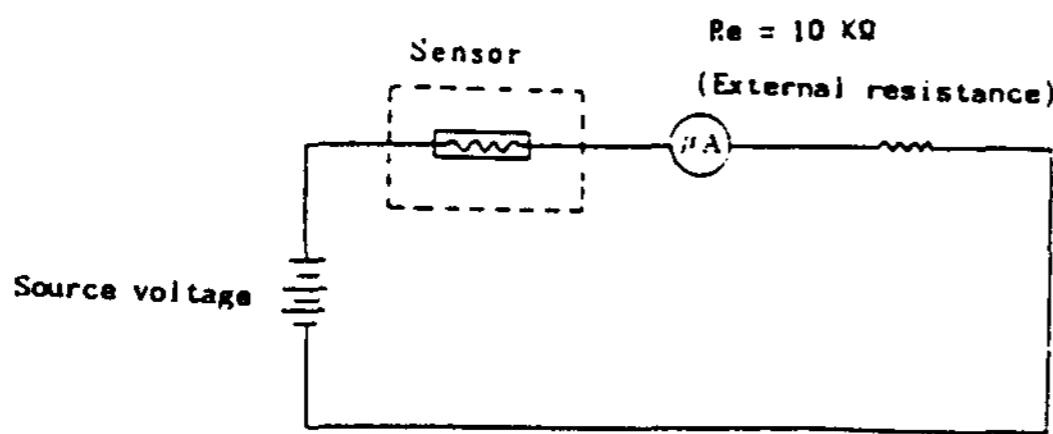


Fig. 3 Measuring circuit

이때, 광에 대한 응답시간을 고려하여 광을 조사시키고 약 10초간 경과한 후, 시편의 감지 특성을 조사하였다. 시편의 온도는 120-360K의 범위내에서 변화시켰다. 120K 보다 낮은 온도에서는 외부에서 들어오는 noise로 인해 전류를 측정하는데, 애로점이 많아 위와 같은 온도영역을 택하였다. 특히, 시편에 성애가 생기는 것을 방지하기 위하여 저온도에서부터 온도를 점차 증가시켜 가면서 전류의 변화를 측정하였다.

### III. 실험결과 및 고찰

#### 1. 전압 - 전류 특성

그림 4는 순수한 CdS 시편과 0.1wt%의 불순물 (Cu, Au)를 첨가하였을 때, 전압에 대한 전류

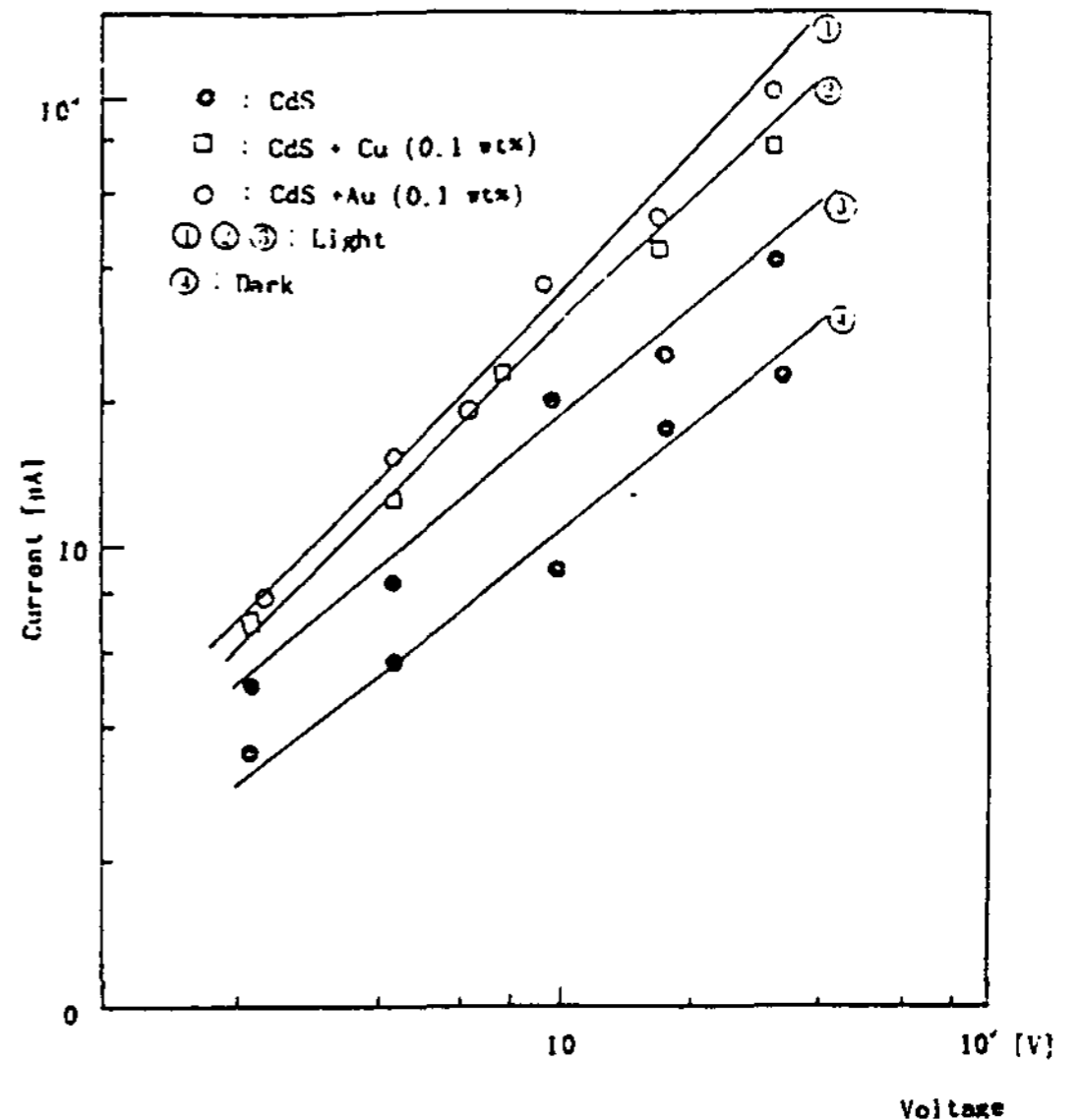


Fig. 4 Current vs. Voltage

특성을 나타낸 것이다. 일정한 파장(520nm)의 광을 조사시키고 인가전압에 대한 전류변화를 측정하였다. 일정한 파장의 광을 조사시킬 때, 전압과 전류특성은  $I = KV^n$ 과 같은 식<sup>14)</sup>으로 나타낼 수 있다.

이 식에서 n은 상수로써 거의 1에 가까운 값을 갖게 되며  $\text{Log} I \propto \text{Log} V$ 가 직선적인 관계를 유지하고 있다. 순수한 CdS 박막에 0.1wt%의 불순물(Cu, Au)을 첨가하였을 때, 순수한 CdS 박막보다 양호한 광전류 특성을 얻을 수 있었다.

#### 2. 광파장 - 상대응답특성

측정에 사용된 시료는 순수한 CdS 분말로 0.1 wt% (Cu, Au)의 불순물을 첨가하여 Slide glass 기판에 진공증착하여 시편을 제작하였다. 이들 시편을 이용하여 Slide glass 기판에 진공증착하여 시편을 제작하였다. 이들 시편을 이용한 광파장변화에 따른 전류의 의존성은 그림 5과 같다.

전극간에 인가한 전압은 5[V]로 일정하게 유지하고, 광의 파장 변화에 따른 전류특성을 조

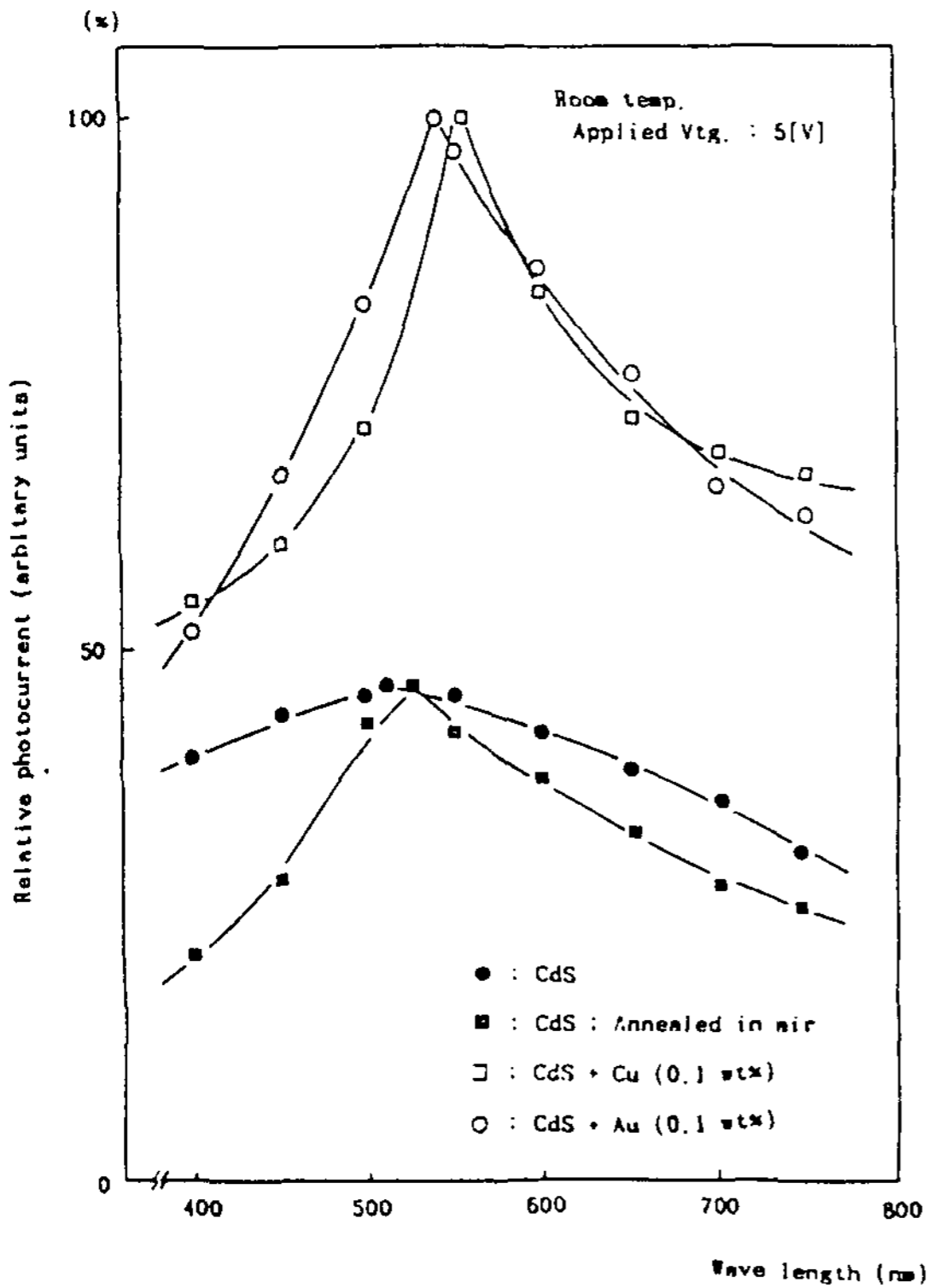
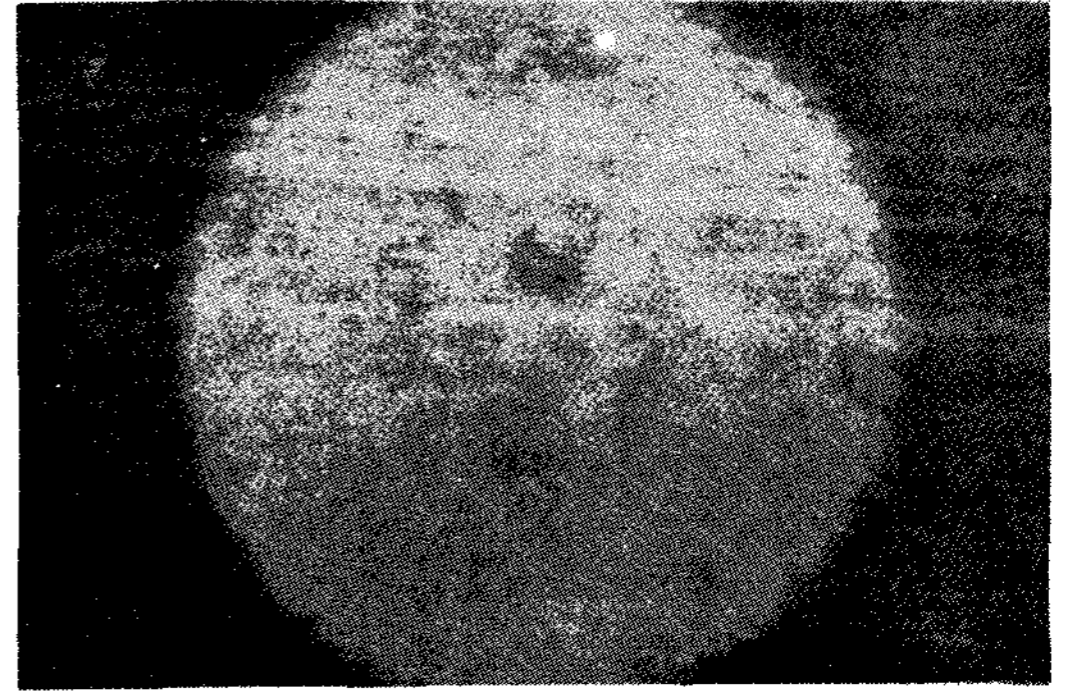


Fig. 5 Spectral response of photocurrent

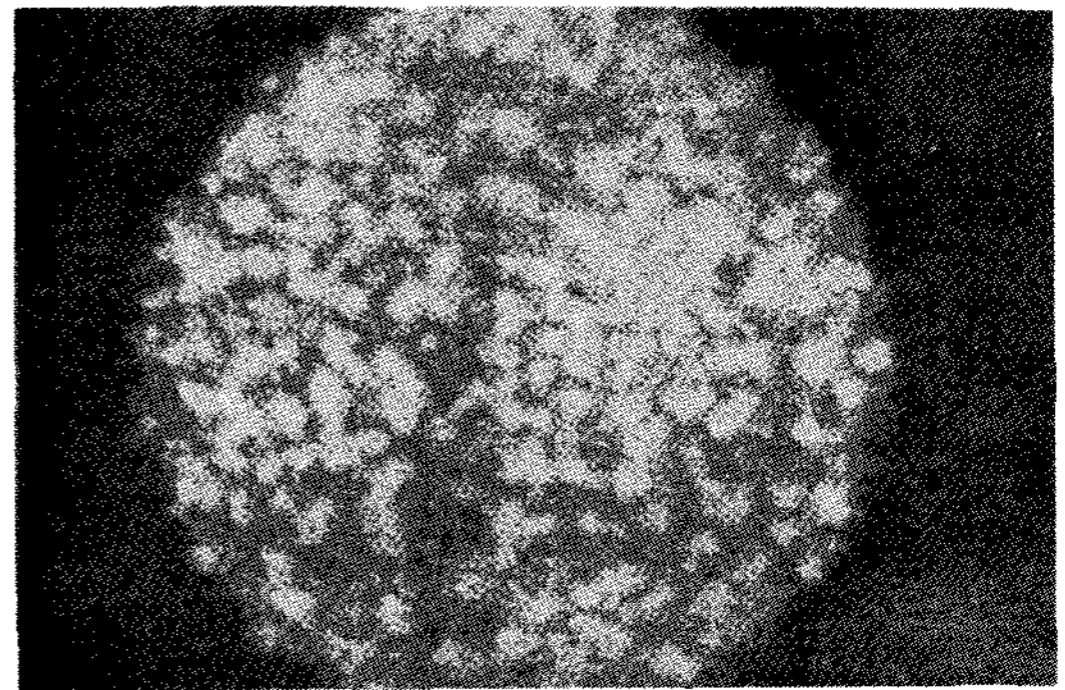
사하였다. 순수한 CdS 시편을 공기 중에서 열처리 하였을 때, 저항이 증가하였으며, 분광응답특성은 다소 개선되었다. 사진 1(배율은 1000 배)은 CdS 박막시편을 열처리하지 않은 것과 400°C에서 열처리를 한 시편의 표면 상태를 나타낸 것이다. 금속 현미경으로 0.2-0.8 $\mu$ m 크기의 grain boundary를 관찰할 수 있었다. 열처리 시킨 것이 grain boundary가 큰 것으로 보아 결정성이 향상되었음을 알 수 있다. 순수한 CdS 시편의 분광응답의 최대치는 510nm 부근에서 나타났고, 열처리 및 불순물 첨가로 최대치는 더욱 더 장파장쪽으로 이동하였다. 불순물 첨가로 인한 최대치의 이동은 CdS 박막결정의 에너지 준위가 감소된 때문이라고 생각된다.

### 3. 저온도하에서의 파장 - 상대응답 특성

시편의 온도를 160K로 일정하게 유지하고 여



(a) Non-annealed specimen



(b) Annealed specimen at 400°C

Photo. 1 Photomicrographs of CdS thin films surface

러가지 파장의 광을 시편에 조사시켜 전류변화를 측정하였다. 그림 6은 저온도분위기하에서 측정된 광응답특성을 나타낸 곡선이다. 실온도에서 보다는 저온도(160K)일 때, 파장에 대한 광응답의 최대치가 보다 단파장쪽으로 이동하였다. 이것은 저온도로 갈수록 캐리어 농도가 감소되어 에너지 갭  $E_3$ 가 커지기 때문이다. 광의 파장이 길어지면 흡수율이 급격히 감소하는 부분(흡수단)이 생긴다. 광속도를  $c$ , 파장을  $\lambda$ , Plank 상수를  $h$ 라 할 때, 흡수에 있어서 파장이  $\lambda$ 인 광자의 에너지  $hc/\lambda$ 가 가전자대에서 전도대로 전자를 끌어올리는데 필요한 에너지  $E_n$  보다 작으면  $\lambda = hc/E_n$ 에서 흡수단이 생기게 된다.<sup>16)</sup>

따라서, 반도체의 에너지 갭  $E_n$ 와  $\lambda$ 와의 관계식  $\lambda = hc/E_n$ 에서  $E_n$ 가 증가함에 따라 흡수단이 작게 되어 장파장의 광을 조사시켜서는 광전도효과가 잘 일어나지 않으므로, 결국 광응답의 최대치는

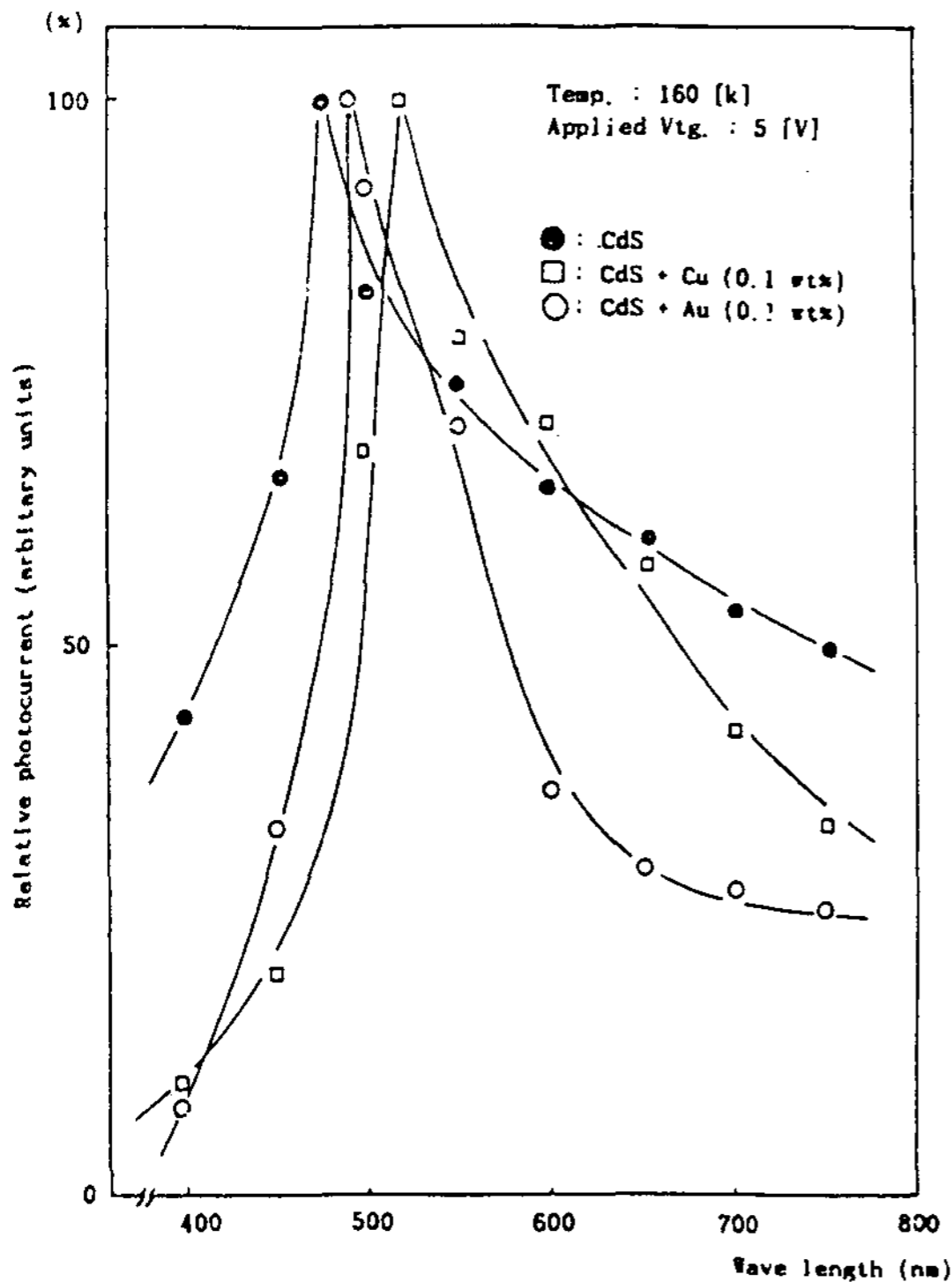


Fig. 6 spectral response of photocurrent at low temperature

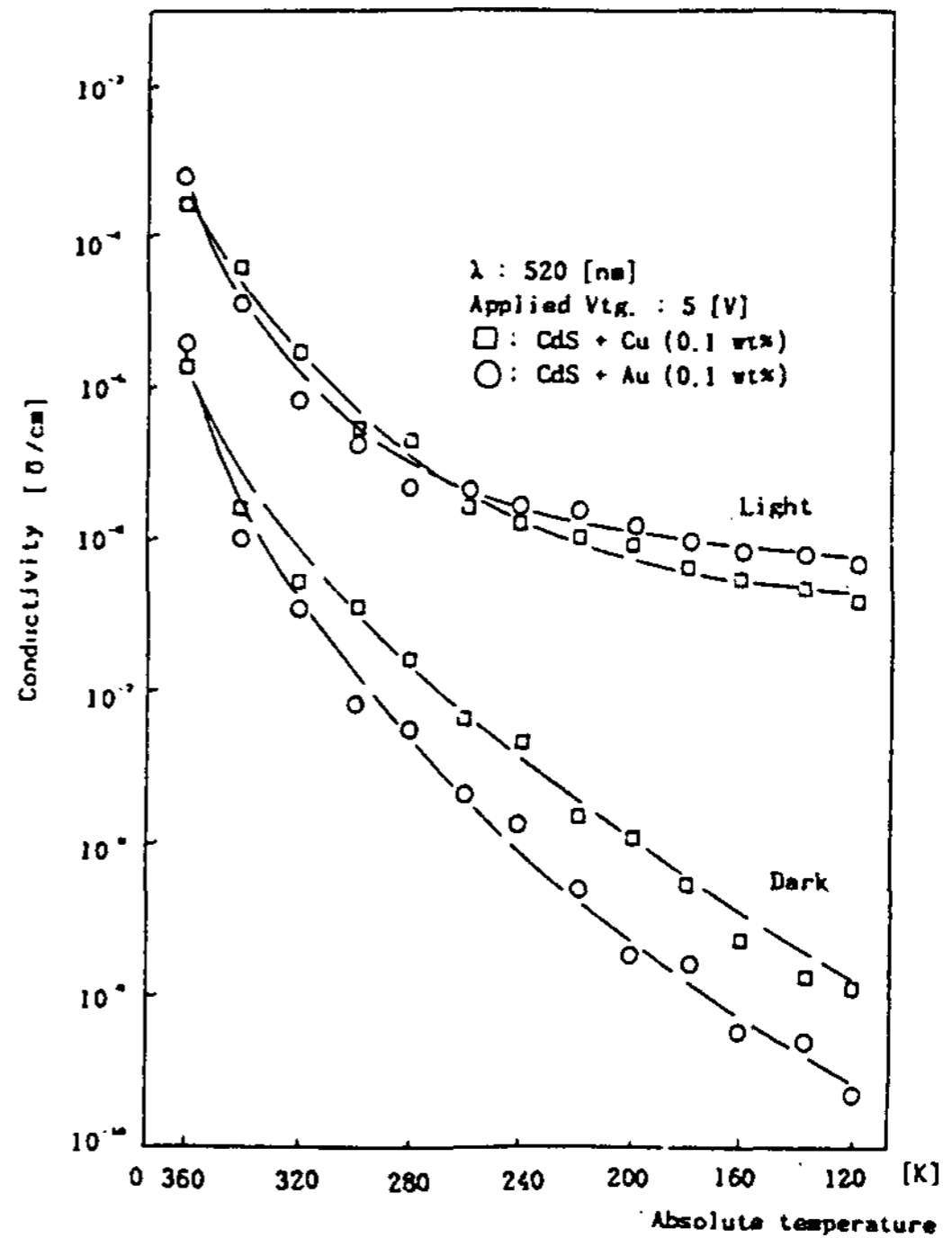


Fig. 7 Conductivity vs. Temperature

단파장쪽으로 이동한다.

#### 4. 온도 - 전도도 특성

그림 7은 암상태와 일정한 파장(520nm)의 광을 조사시켰을 때, 온도변화에 따른 전도도의 의존성을 나타낸 것이다. 암상태하에서 온도가 감소함에 따라 전도도는  $\sigma_D = ae^{E/KT}$ 로 감소하고 있다. 여기서, E는 활성화 에너지이다. 일정한 파장의 광을 조사시켰을 때, 온도의존성은  $\sigma_L - \sigma_D = Ae^{-E_1/KT}$ 이다.<sup>14)</sup>

본 실험에서 얻은 결과치는 거의 이론식과 일치하였다. 일정한 파장의 광을 조사시켰을 때 보다는 암상태에서 시편온도에 따른 전도도의 의존성이 크게 나타났었다.

#### 5. 불순물농도 \ 감전류 및 광전류특성

그림 8은 불순물 농도에 따른 광전류특성을 나타낸 것이다. 일반적으로, 불순물 농도가 증가함에 따라 이온화된 불순물 원자와의 쿨롱(Coulomb)력에 의해 자유캐리어의 행로가 굴절되거나, 캐리어(전자-전자, 전자-정공)들간에 작용하는 쿨롱력에 의해 산란이 일어나 오히려 이동도는 감소하게 된다. 불순물 농도가 대단히 커지게 되면, 페르미 준위가 전도대와 일치하게 된다. 따라서, 반도체의 특성이 상실되면서 금속과 같은 성질을 나타낸다. 첨가제로써 주기율표 제1족에 속하는 Cu와 Au를 사용한 것은 1족의 +1가인 양이온이 Cd<sup>2+</sup>의 자리에 치환되어 들어가거나<sup>17, 18)</sup>, 격자간의 위치에 들어가 억셉터 준위가 형성된다<sup>19, 20)</sup> 그러므로, 가전자대외에도 억셉터 준위로부터 여기된 자유캐리어로 인해 도전률은 증가하게 된다. 불순물 농도에 따른 광응답특성은 0.5wt%에서 양호하게 나타나고

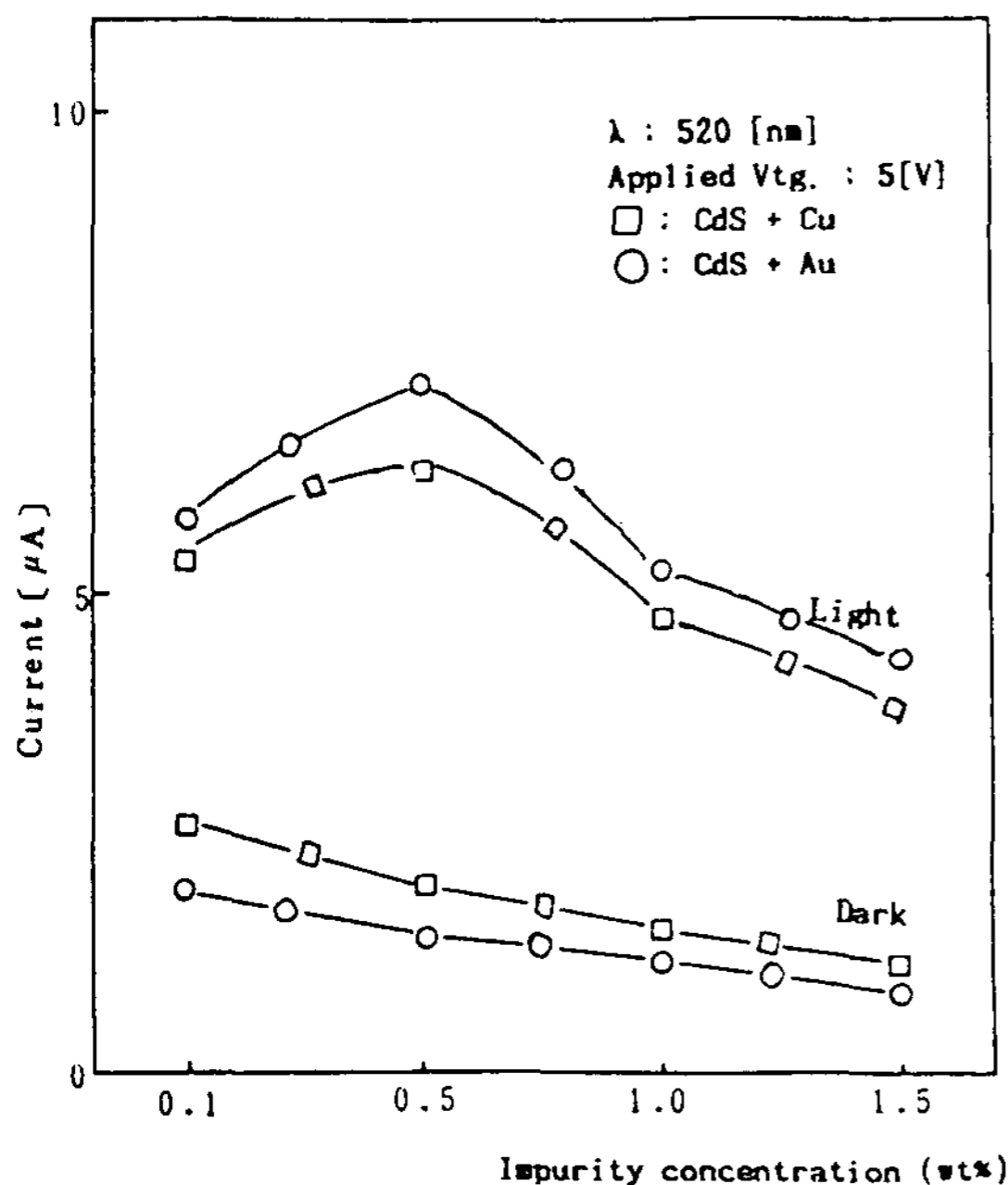


Fig. 8 Dark and photocurrent vs. Impurity concentration

있다.

#### IV. 결 론

광전도성 물질은 CdS를 진공증착시켜 전기적 특성을 조사한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 전압(LogV)에 대한 전류(Loga I)의 변화는 직선적인 관계가 성립한다.

2) 순수한 CdS 박막의 경우, 광의 파장변화에 따른 광응답의 최대치는 510nm 부근에서 나타났으며 열처리함에 따라 광응답의 최대치는 더욱더 장파쪽으로 이동하였다.

3) 광을 조사치 않을 때와 일정한 파장의 광을 조사하였을 때, 시편온도에 따른 전도도의 변화는 전자쪽이 보다 크게 나타났다.

4) 일정한 온도에서 여러가지 파장의 광을 조사하였을 때, 실온도에서 보다는 저온도(160 K)에서 양호한 광응답특성이 나타나고 있다.

실험은 각 항목마다 5회 이상을 하였으며, 그 때마다  $\pm 10\%$  정도의 오차가 있었다.

#### 참고문헌

- 1) 高橋清著 : 센서技術入門, p.39, 工業調査會
- 2) R. Frerichs : Phys. Rev., Vol.72, p.594, 1947
- 3) S. M. Thomson and R.H. Bube : Rev. Sci. Indr., Vol.26, p.664, 1955
- 4) R. R. Chamberlin and J.S. Skarman : J. Electrochem. Soc, Vol.113, p.86, 1966.
- 5) R. K. Cook and R.W. Christy : J. Appl. Phys., Vol.51, No.1, p.668, 1980
- 6) 應用物理 : 第 32 卷, 第 2 號, p.109, 1963.
- 7) Taneo Nishino and Yosiro Hamakawa : Japanese J. Appl. Phys., Vol.9, No.9, p.1085, 1970
- 8) James Kane and H. P. Schweizer, Werner Kern : J. Electrochem. soc. Solid State Sci. and Tech., pp.1144-1149, 1945
- 9) J. A. Aboaf and C. Marcotte : J. Electrochem. Soc. solid State Sci. and Tech., Vol. 120, No.5, p.702, 1973.
- 10) J. M. Gilles and J. Van Cakenberghe : Nature, Vol.182, p.862, 1958.
- 11) G. A. Somorjai and J. E. Lester : J. Chem. Phys., Vol.43, No.5, pp.1456-1459, 1965
- 12) Edwards Yang : Fundamentals of Semiconductor Devices, pp.25-40, McGraw-Hill Book Company.
- 13) R. W. Smith : Phys. Rev., Vol.97, pp.1525-1530, 1954
- 14) Goro Kuwabara : J. Phys. soc. Japan, Vol.9, No.1, pp. 97-100, 1954
- 15) 鈴木忠二 : 일렉트로닉스, pp. 70-72. 1月號, 1982
- 16) 金學濟外 3名 : 理化學大辭典, pp.1471-1472, 信一出版社
- 17) 藤本三治著 : 電氣工에너지變換工學, pp.14-16, 電氣書院
- 18) Inshitani and M. Maeda : J. Phys. Soc. Japan, Vol.32, p.576, 1972.
- 19) 令岡英一郎 · 度邊英夫. 和田正信 : 應用物理, 第 9 號, pp.989-995.
- 20) A. P. Galushka, G.E. Davidyuk, V.T. Mak, V. I. Kuks, and N. S. Bogdanyuk : Sov. Phys. Semicond., Vol.9, No.11, pp.1413-1414, 1975

## A Study on the Heat Transfer Characteristics in the Composite Heat Pipe as Modeling Turbine Rotor.

Kwon, Sun-Sok\* · Jang, Yeong-Suc\*\* · Yoo, Byung-Wook\*\*\*

\*Dong-A University

\*\*Kyung-Nam Junior College

\*\*\*Graduate School, Dong-A University

The purpose of this research is to study the characteristics of heat transfer in composite rotary heat pipe as modeled turbine rotating by a finite element analysis and experiment. Nu number, Re number, Pr number and dimensionless condensate layer thickness by thermal input and revolutions per minute were given as analysis factors. The comparison between calculated and experimental data showed similar tendency. Therefore the analysis method may be useful to predict the performance of composite heat pipe. The resistance on heat pipe showed the best effect of heat transfer by film condensation, by decreasing film condensation, the heat transfer rate from condenser was increased rapidly. The dimensionless condensate layer thickness according to Re number at given Pr number showed constant values, the dimensionless condensate layer thickness is proportionate to the square root of inverse of revolution number per minute. In this study  $Nu = A(\delta(\omega/\nu)^{-1/2} Re^B)$  is used to the convection heat transfer coefficient and  $A=0.963$ ,  $B=0.5025$  were obtained as analysis predicts.

## The Effect of Activator on the Photoconductive Characteristics of CdS Thin Film

전 춘 생 · 정 재 진

인하대학교 공과대학 전기공학과

인하대학교 대학원 전기공학과

### ABSTRACT

In this paper, the electrical characteristics of CdS thin films doped with a little of impurities(activators) are studied on wavelength(380-760nm), and temperature(120-360K).

These results are as follows.

1) The resistance of pure CdS thin film increases by annealing, and maximum response value of wavelength is shifted to the long wavelength.

2) The spectral responses of light are more sensitive in low temperature(160K) than in room tempe-



rature.

3) Characteristics of the spectral response of light are improved by doping with 0.5wt % impurity

## Application of Separate-Excitation Inverter for Photovoltaic Power Generation System

Yu, Gwon-Jong, Jeon, Hong-Seok

*Korea Institute of Energy Research*

### ABSTRACT

This paper describes technical details of Separate Excitation Inverter(SEI) application for the photovoltaic system. Depending on the output characteristics of solar cell modules, optimum control for the maximum electricity generation of photovoltaic system could be determined. New control mechanism of Separate Excitation Inverter for the Photovoltaic-Diesel Hybrid Generator was tested and examined. Results of this paper describe that maximum out of solar cell array could be obtained at two points. Therefore the two point control method was applied and verified between, the theory and the experiment.

## 대체에너지기술의 환경비용 고찰

김 부 호

한국에너지기술연구소

The comparison of solar energy technologies with conventional technologies involves more than just comparing the costs of supplying energy and providing capacity. Solar technologies supply energy in a sustainable manner while having minimal effects on the environment. When choosing between solar energy technologies and conventional technologies, first cost is an important factor.

The environmental and other social benefits of using solar energy technologies contrast sharply with the environmental degradation and social costs resulting from the use of conventional technologies. These hidden costs, sometimes called "social cost", are not included in conventional economics.

This paper is emphasized that the consideration of social costs effects comparisons between renewable and conventional energy technologies is of importance.