

n-CdS_{0.46}Se_{0.54}/p-Cu_{2-x}S_{0.46}Se_{0.54} 이종접합 태양전지의 제작과 그 특성에 관한 연구

유상하 · 최승평 · 이상열 · 홍광준 · 서상석 · 김혜숙 · 전승룡 · 윤은희*
문종대**신영진 · 정태수 · 신현길 · 김택성***유기수****

- * 조선대학교 자연과학대학 물리학과
- ** 동신대학교 물리학과
- *** 전북대학교 자연과학대학 물리학과
- **** 전북지방공업기술원

The Study of the Fabrication and Characteristics of n- CdS_{0.46}Se_{0.54}/p-Cu_{2-x}S_{0.46}Se_{0.54} heterojunction Solar Cells

Sang-Ha, You · Seung-Pyung, Choi · Sang-Youl, Lee · Kwang-Joon, Hong
Sang-Suhg, Suh · Hye-Suk, Kim, Seung-Yong, Jeon · Eun-Hee, Yun*
Jong-Dae, Moon** Yeong-Jin, Shin · Tae-Soo, Jeong · Hyun-Keel, Shin
Tack-Sung, Kim*** Kee-Soo, Rheu****

- * Department of Physics, College of Natural Sciences, Chosun University
- ** Department of Physics, College of Natural Sciences, Dongshin University
- *** Department of Physics, College of Natural Sciences, Jeonbuk National University
- **** National Industrial Technology Institute of Jeonbuk

요 약

승화방법에 의해 CdS_{0.46}Se_{0.54} 단결정을 성장하여 결정구조를 조사하고, Van der Pauw 방법으로 Hall effect를 측정하여 carrier density의 온도 의존성과 mobility의 온도 의존성을 조사하였다.

성장된 CdS_{0.46}Se_{0.54} 단결정을 치환반응하여 n-CdS_{0.46}Se_{0.54}/p-Cu_{2-x}S_{0.46}Se_{0.54} 이종접합 태양전지를 제작하였다. Spectral response, 전류-전압특성 및 전력변환 효율을 조사하여 그 결과로부터 개방전압은 0.48V, 단락 전류 밀도는 21mA/cm², fill factor와 전력변환효율은 각각 0.75와 9.5%를 얻었다.

ABSTRACT

CdS_{0.46}Se_{0.54} single crystal was grown by a sublimation method.

The crystal structure and the temperature dependence of carrier density and mobility of CdS_{0.46}Se_{0.54} single crystal were studied.

Heterojunction solar cells of n-CdS_{0.46}Se_{0.54}/p-Cu_{2-x}S_{0.46}Se_{0.54} were fabricated by the substitution reaction.

The spectral response, the J-V characteristics and the conversion efficiency of the n-CdS_{0.46}Se_{0.54}/p-Cu_{2-x}S_{0.46}Se_{0.54} heterojunction solar cells were studied.

The open-circuit voltage, short-circuit density, fill factor and conversion efficiency of n-CdS_{0.46}Se_{0.54}/p-Cu_{2-x}S_{0.46}Se_{0.54} heterojunction solar cells under 80mW/cm² illumination were found to be 0.48V, 21mA/cm², 0.75 and 9.5%, respectively.

I. 서 론

태양전지의 기능이 광기전 효과에 의한다는 것이 1839년 Becquerel¹⁾에 의해서 보고되고, 1876년에 W. G. Adams²⁾ 등에 의해 selenium에서 그 효과를 발견한 후, 1954년 D. M. Chapin³⁾ 등에 의해 처음으로 silicon 태양전지가 만들어 졌다. 그 후 많은 과학자들에 의해 연구되어진 태양전지는 silicon을 재료로 한것이 주종을 이루고 있지만 silicon 태양전지의 광기전력(0.5V) 제한과 전력변환 효율면에 있어서도 뒤떨어져, 그외의 다른 III-V 및 II-IV족 화합물 반도체를 이용한 태양전지의 연구가 시작되었다.⁴⁾

1954년 D. C. Reynolds⁵⁾가 CdS 단결정의 광기전력을 발견하므로써 CdS에 대한 연구가 시작되었으며, 그 후 1956년 Carlson⁶⁾이 CdS 다결정을 Cu 이온용액에서 화학적으로 Cu층을 형성시켜 태양전지를 제작하였고, 1977년 A. M. Borrett⁷⁾ 등에 의해서 CdS 단결정에 CdS/Cu₂S을 형성하여 6.5% 효율을 얻었다. 1967년 V. N. Komashchenko⁸⁾ 등은 Cu_{2-x}Se/CdSe 이종접합 태양전지를 만들어 3%의 효율을 얻었고, 1970년 G. A. Fedrous⁹⁾ 등도 Cu_{2-x}Se/CdSe 이종접합 태양전

지를 제작하여 5%의 효율을 얻었다.

본 연구에서는 승화방법으로 CdS_{0.46}Se_{0.54} 단결정을 성장시켜 Laue 배면 반사법으로 CdS_{0.46}Se_{0.54} 단결정임을 확인하고, X-ray diffraction으로 격자 상수를 구하고, Van der Pauw^{10,11)} 방법으로 Hall effect를 측정하여 carrier density의 온도 의존성, mobility의 온도 의존성에 대해 조사하였다. 또 승화 방법으로 성장시킨 n-CdS_{0.46}Se_{0.54} 단결정에 치환 반응을 이용하여 p-Cu_{2-x}S_{0.46}Se_{0.54} 층을 성장시켜 n-CdS_{0.46}Se_{0.54}/p-Cu_{2-x}S_{0.46}Se_{0.54} 이종접합 태양전지^{12~19)}를 제작하여 spectral response, 전류-전압특성 및 출력특성을 조사하였다.

II. 실험 및 측정

1. 승화방법에 의한 CdS_{0.46}Se_{0.54} 단결정 성장

승화방법에 의한 CdS_{0.46}Se_{0.54} 단결정 성장은 Fig. 1과 같은 전기로에 온도구배를 주어 고온부인 growth part의 온도를 1055°C, source part의 온도를 1065°C로 하였으며, 저온부의 selenium reservoir의 온도는 450°C로 하였다. 먼저 ampoule의

growth part를 950°C의 고온부에 있도록 하고 그 온도에서 24시간 동안 heating한 후 온도를 10°C/hr로 끌어 올려서 growth part의 온도가 1055°C, source part의 온도가 1065°C가 되도록 하면서

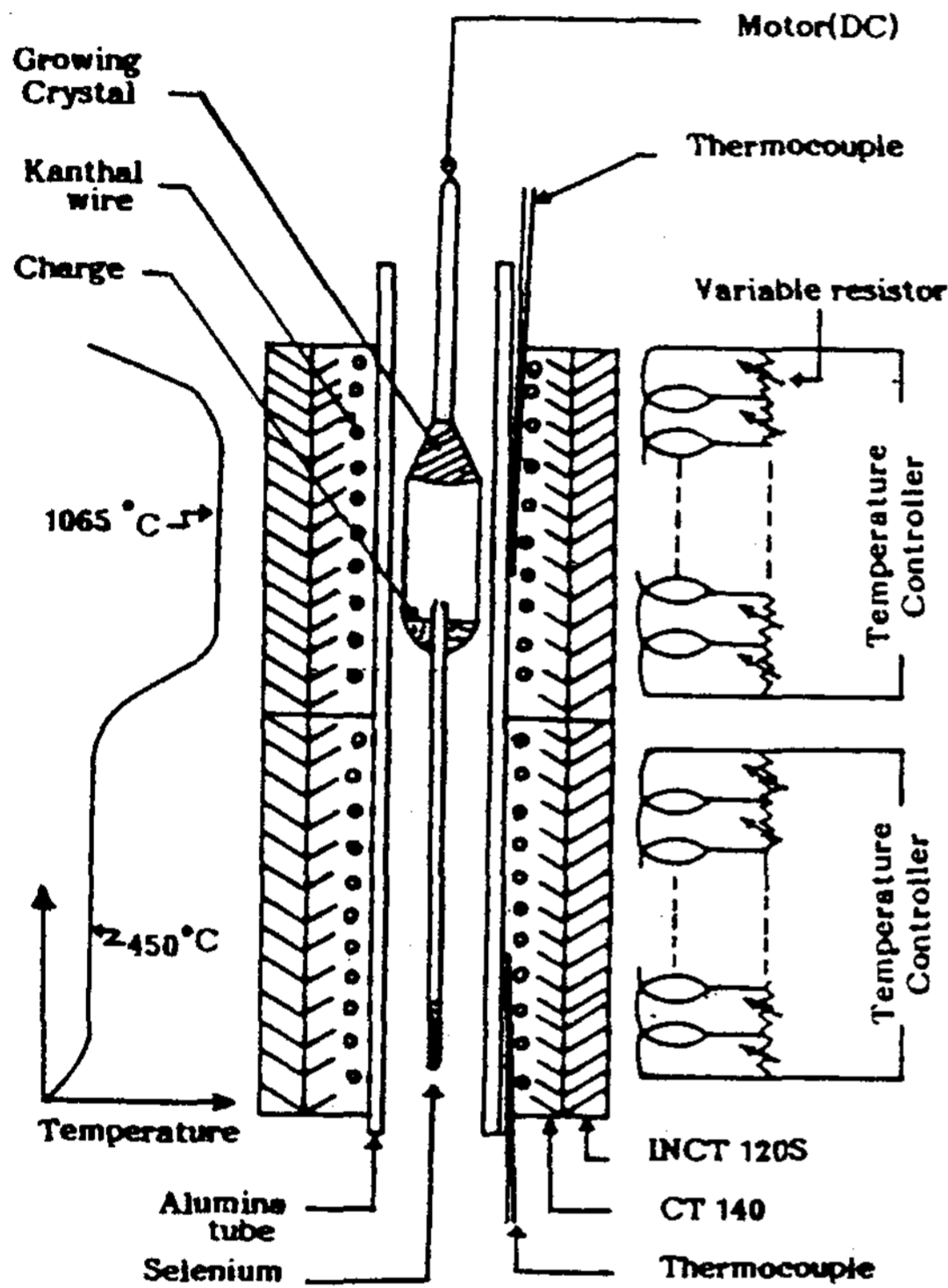


Fig. 1 Experimental arrangement for CdS_{0.46}Se_{0.54} single crystal grown by sublimation method.



Fig. 2 Photograph of CdS_{0.46}Se_{0.54} single crystal grown by sublimation method.

pulling motor를 이용하여 0.64cm/hr로 끌어 올려 14시간 동안 9cm를 이동시켰다. 그 다음 온도를 0.002°C/hr로 올리면서 ampoule을 456시간 동안 4cm를 올리면서 ampoule을 21시간 동안 5cm를 이동하게 하여 전원을 끄고 24시간 동안 자연냉각시켜 성장된 단결정을 시료로 사용하였다. 성장된 CdS_{0.46}Se_{0.54} 단결정의 크기는 높이 1.84cm, 밑면의 직경이 1.63cm인 원추형 boule이었으며 표면은 윤택이 났다. 이와 같이 성장된 CdS_{0.46}Se_{0.54} 단결정의 사진은 Fig.2와 같다.

1. n-CdS_{0.46}Se_{0.54}/p-Cu_{2-x}S_{0.46}Se_{0.54} 이종 접합 태양전지 제작

성장된 CdS_{0.46}Se_{0.54} 단결정을 1cm×1.2cm 크기로 잘라 30HNO₃+0.1HCl+10CH₃COOH+20(18N-H₂SO₄) 용액²⁰⁾을 40°C로 유지하고 8초 동안 etching하고 세척하였다. Etching 하고 세척한 시료를 증류수 1000CC에 CuCl 6g, NaCl 2g, Hydrazin 2g을 교반시킨 혼합 수용액 속에 넣고 90°C로 온도를 유지하면서 약 10초 동안 반응시켜 n-CdS_{0.46}Se_{0.54} 단결정의 Cd가 Cu와 치환되어 p-Cu_{2-x}S_{0.46}Se_{0.54}가 성장되게 하였다. 이때 CuCl은 Cu²⁺ 이온을 제공해 주는 용질이고, NaCl은 CuCl의 용해도를 높이기 위한 촉매제이며, Hydrazin은 CuCl이 가열되어 Cu₂O로 변화하여 백색 침전물로 바뀔때 산화 방지제이다. P층 위에는 ~10⁻⁶torr의

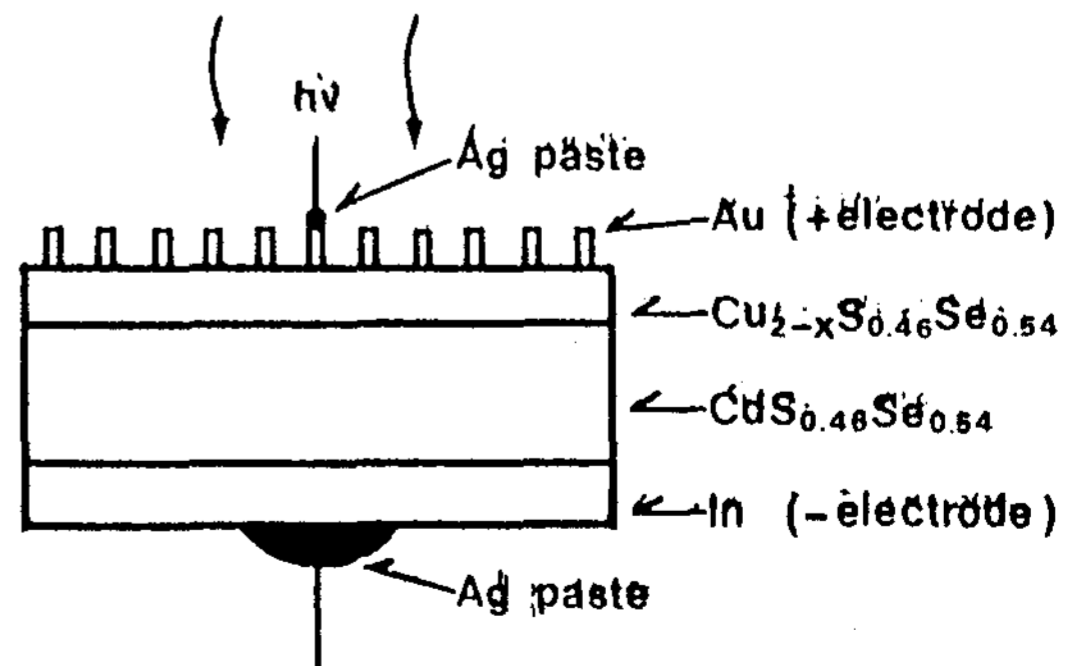


Fig. 3 Schematic diagram of n-CdS_{0.46}Se_{0.54}/p-Cu_{2-x}S_{0.46}Se_{0.54} heterojunction solar cells

진공 속에서 gold를 증착한 후 이 소자를 gold header 위에 놓고 n층을 indium으로 p층은 gold wire로 전극을 부착하여 태양전지를 제작하였고, 제작된 태양전지의 수광면적은 1cm²였으며 그 단면도는 Fig.3과 같고 사진은 Fig.4와 같다.

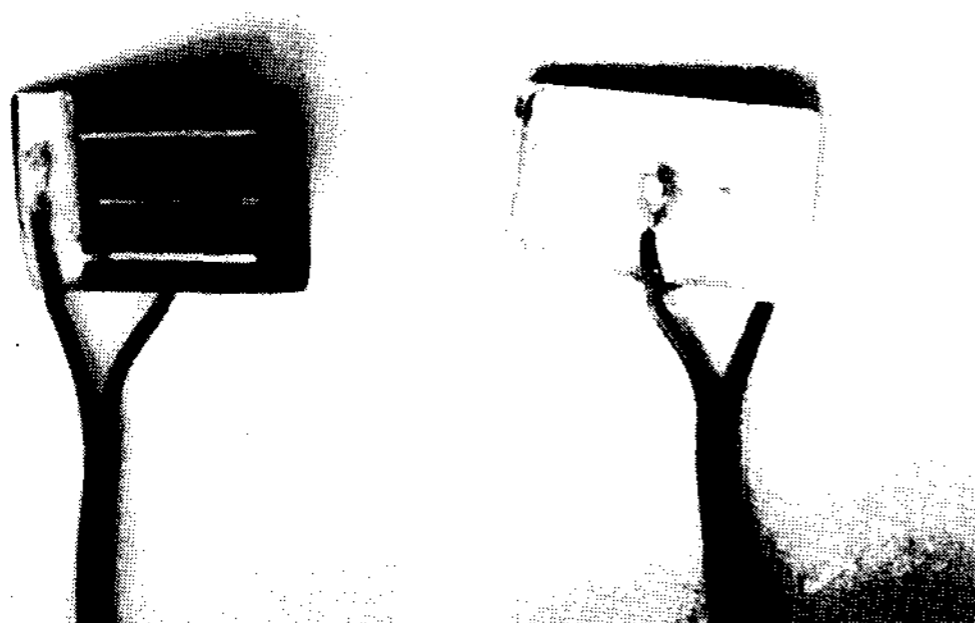


Fig. 4 The photograph n-CdS_{0.46}Se_{0.54}/p-Cu_{2-x}S_{0.46}Se_{0.54} heterojunction solar cells

III. 측정 장치 및 실험 방법

성장된 CdS_{0.46}Se_{0.54} 단결정의 결정 구조와 격자 상수를 조사하기 위하여 X선 회절 장치를 (Rigaku-Denki, D-3F) 사용하였고, 이때 X-ray는 Cu-K α 인 파장 1.5405 Å을 사용하였으며 Laue 카메라를 부착하여 Laue 배면 반사법 (거리 3cm)으로 Laue 사진을 촬영하고, 또 회절 무늬를 기록하였다.

Hall effect 는 Van der Pauw 방법으로 측정하였으며 cryogenic helium refrigerator (Air product, CSA-202B)를 사용하여 cryostat (Air product, DE-2025)의 온도를 293K에서 30K까지 조절할 수 있게 하였고 온도는 열전대 (KPV vs gold with 0.07 atomic % iron)를 써서 온도 조절기 (Air product, APD-T3)로 측정하였다. Hall effect는 cryostat의 cold finger에 cell을 고정하고 cell에 인가되는 전기장에 수직으로 2KG의 전자석을 놓고 cell의 온도를 293K에서 30K까지 변화시켜 가면서 측정하였고 그 개략도는 Fig.5와

같다.

n-CdS_{0.46}Se_{0.54}/p-Cu_{2-x}S_{0.46}Se_{0.54} 이종접합 태양전지의 spectral response는 monochromator (Jarrell Ash. 82-020, 0.5m), X-Y recorder(MFE, 815M)를 이용하여 300nm에서 1000nm의 광영역에서 측정하고, 전류-전압 특성 및 출력 특성은 80 mW/cm² tungsten halogen lamp와 electrometer (Kikusui, DMZ-1400), curve tracer, oscilloscope를 이용하여 측정하였다.

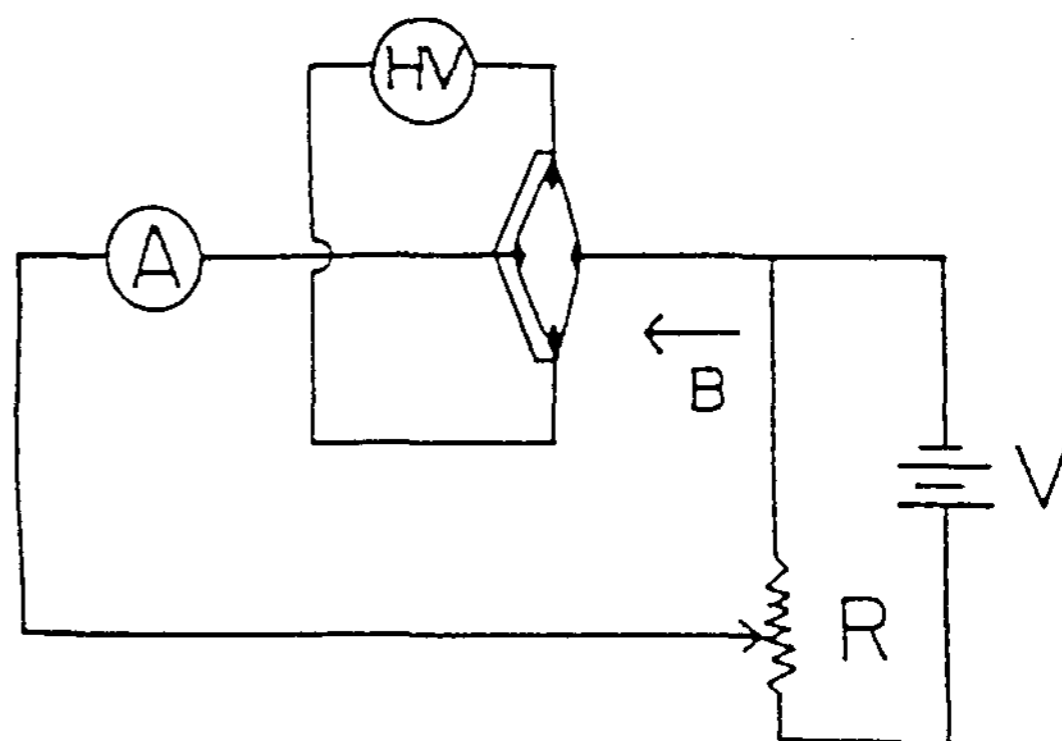


Fig. 5 Block diagram for measuring Hall effect

IV. 실험결과 및 고찰

1. 승화방법에 의한 CdS_{0.46}Se_{0.54} 단결정

1.1. CdS_{0.46}Se_{0.54} 단결정 구조

수직 2단 전기로에서 승화방법으로 성장된 CdS_{0.46}Se_{0.54} boule은 Fig.2와 같이 원추형 덩어리였다. 이 boule의 길이 방향을 c축으로 하여 CdS_{0.46}Se_{0.54} 단결정이 성장되었음을 알 수 있었고, boule의 길이 방향에 나란히 절단한 시편의 Laue 사진은 Fig.7과 같이 (10 $\bar{1}$ 0)면임을 알 수 있다.

CdS_{0.46}Se_{0.54} 단결정의 분말을 이용한 X-ray 회절도는 Fig.8과 같다. Fig.8의 X-ray 회절도의 (hkl)값들은 면간격 d에 대한 2 θ 값이 JCPDS (Joint Committee on Powder Diffraction Stand-

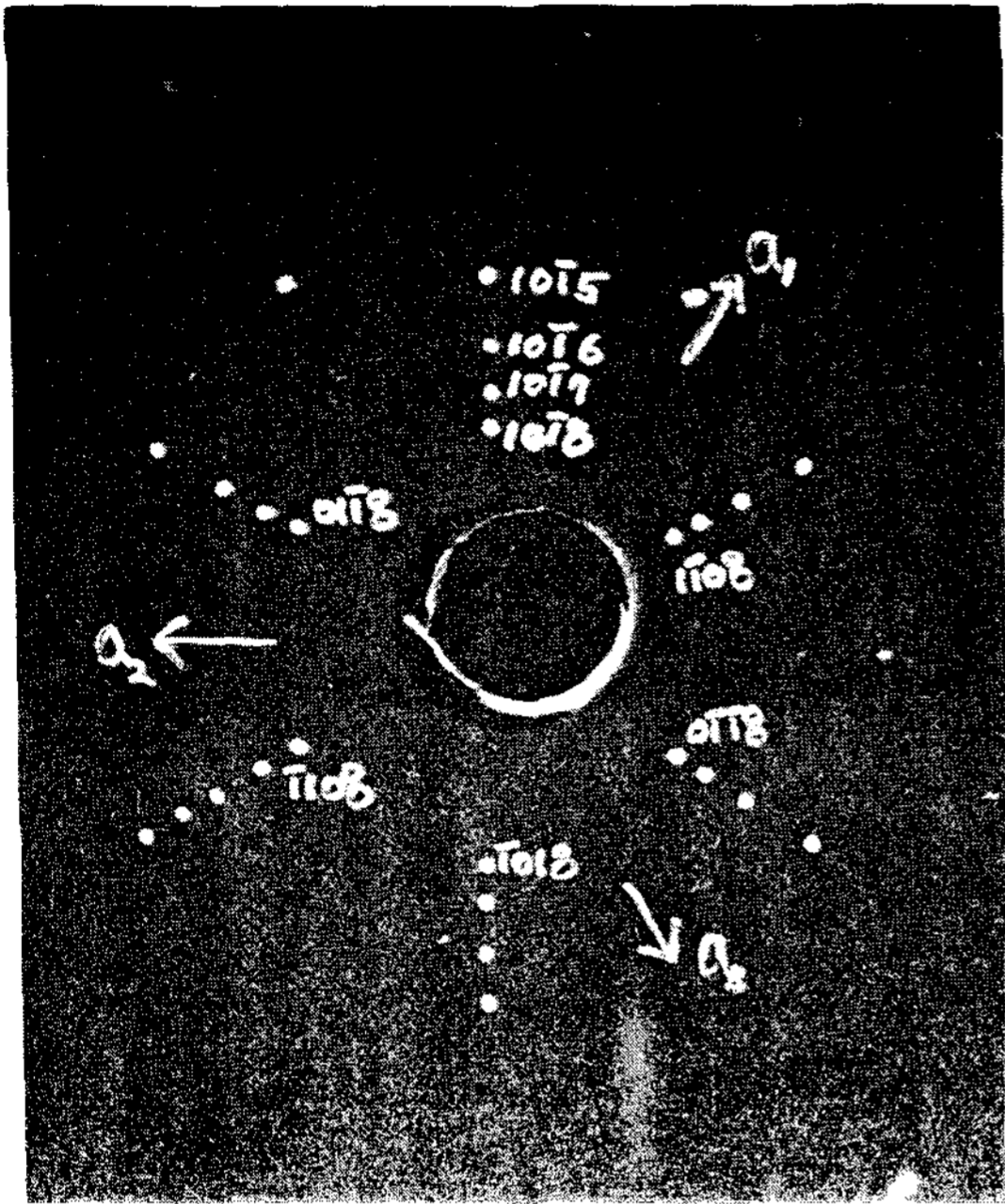


Fig. 6 Back-reflection Laue patterns corresponding to the (0001) planes.

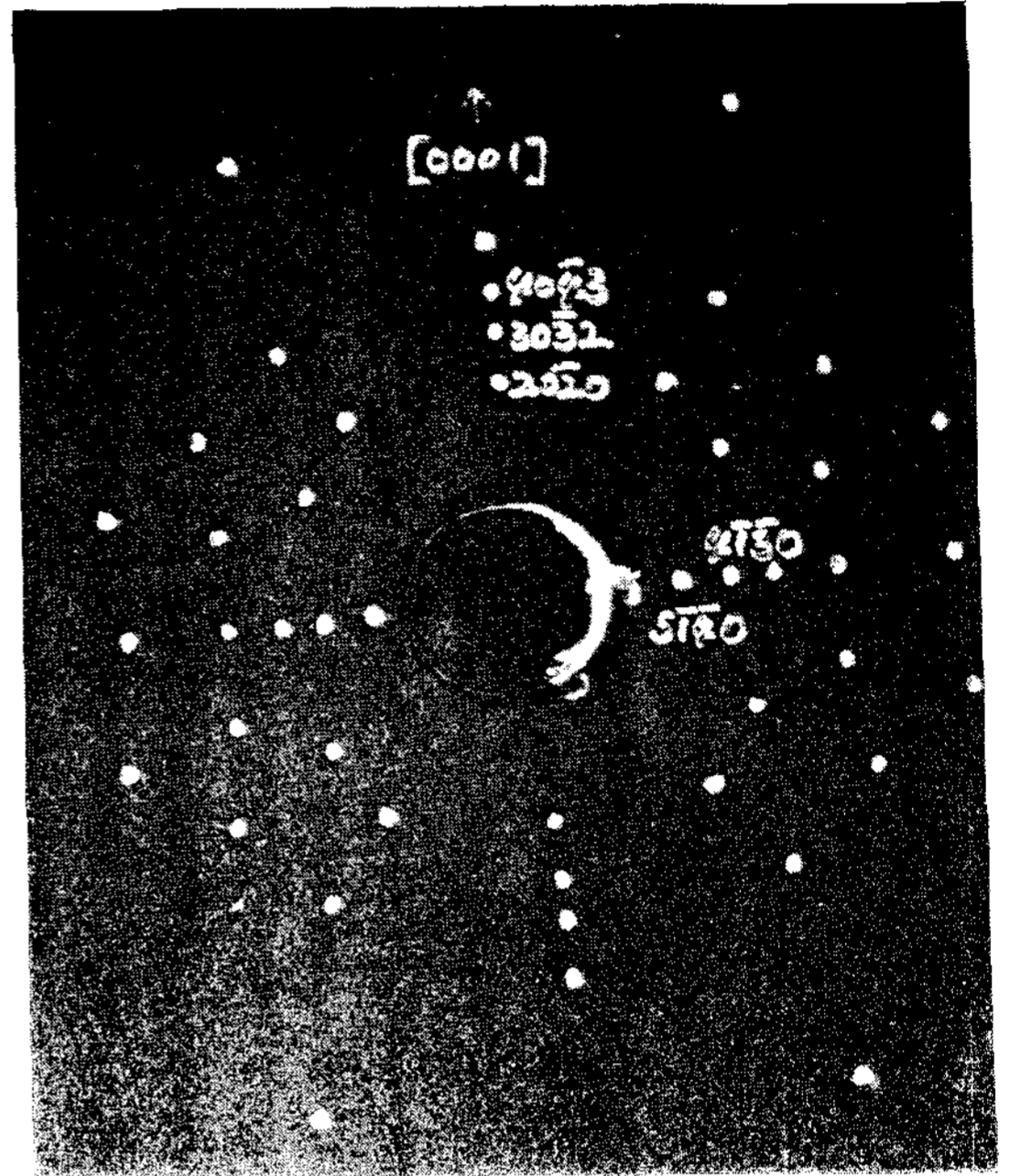


Fig. 7 Back-reflection Laue patterns corresponding to the (1010) planes

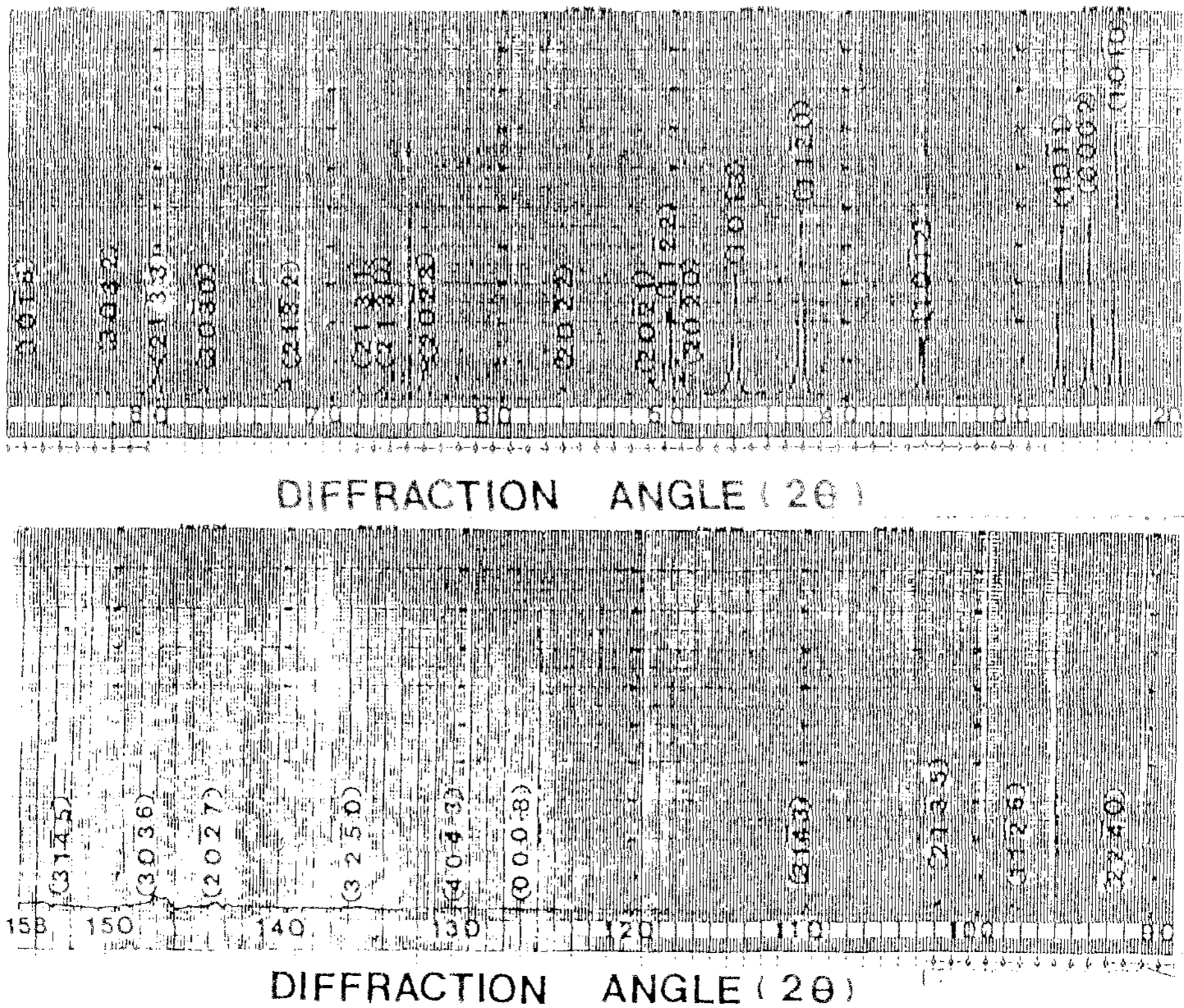


Fig. 8 X-ray diffraction patterns of CdS_{0.46}Se_{0.54} single crystal grown by sublimation method.

rds)와 잘 일치하여 성장된 CdS_{0.46}Se_{0.54} 단결정이 육방정계임을 알 수 있었다.

CdS_{0.46}Se_{0.54} 단결정의 격자상수는 외삽법²¹⁾으로 구하였으며, 그 결과는 Fig.9와 Table 1과 같다. Fig.9와 Table 1에서 보는 바와 같이 a₀=4.2213Å, c₀=6.8665Å 이었다.

또한 성장된 CdS_{0.46}Se_{0.54} 단결정의 화학적 조성비 x값은 Vegard법칙에 따라 구하였으며, 그 결과는 Fig.10과 같고 x는 0.54였다.

1.2. Hall effect

승화방법으로 성장한 CdS_{0.46}Se_{0.54} 단결정의 Hall 효과를 Van der Pauw 방법으로 293K에서 30K까지 온도를 변화시켜 가면서 측정하여 구한 carrier density, Hall 계수, 전기 전도도, 이동도등의 값은 table 2와 같고 이동도 μ는 Fig.11과 같다. Fig.11에서 보는 바와 같이 293K에서 200K까지는

lattice scattering에 기인하고 200K에서 30K까지는 impurity scattering에 의존하고 있음을 알 수 있었다. Carrier density n는 온도 1/T에 대해 음의 지수형태에 따라 변하고 있으며, 이 때 온도 역수에 대한 n의 값을 Fig.12에 보였다. Table.2에서 보는 바와 같이 Hall 계수 R_H가 음의 값으로 측정되어 n형 반도체임을 알 수 있었다.

2. n-CdS_{0.46}Se_{0.54}/p-Cu_{2-x}S_{0.46}Se_{0.54} 이종 접합 태양전지

2.1. Spectral response.

승화방법으로 성장된 n-CdS_{0.46}Se_{0.54} 단결정에 치환반응을 이용하여 p-Cu_{2-x}S_{0.46}Se_{0.54} 층을 성장시켜 p층에 gold를 n층에 indium을 증착한 다음 전극을 형성하여 만든 n-CdS_{0.46}Se_{0.54}/p-Cu_{2-x}S_{0.46}Se

Table 1. X-ray diffraction patterns data of CdS_{0.46}Se_{0.54}

2θ	d(Å)	$\frac{1}{2} \cos^2 \theta \left(\frac{1}{\sin \theta} + \frac{1}{\theta} \right)$	hkl
24.30	3.6596	2.3097	100
25.98	3.4371	2.1558	002
27.70	3.2176	2.0031	101
36.05	2.4892	1.4862	102
42.75	2.1133	1.2099	110
47.10	1.9278	1.0695	103
49.90	1.8260	0.9909	200
50.80	1.7957	0.9673	112
51.90	1.7602	0.9394	201
65.60	1.4219	0.6629	203
67.80	1.3810	0.7617	210
69.70	1.3479	0.5990	211
73.90	1.2814	0.5399	105
78.60	1.2161	0.4803	300
81.40	3.1812	0.4478	213
84.60	1.1445	0.4129	302
89.60	1.0931	0.3629	205
93.80	1.0549	0.3247	220
99.00	1.0130	0.2816	310
a ₀ = 4.2213 Å		c ₀ = 6.8665 Å	

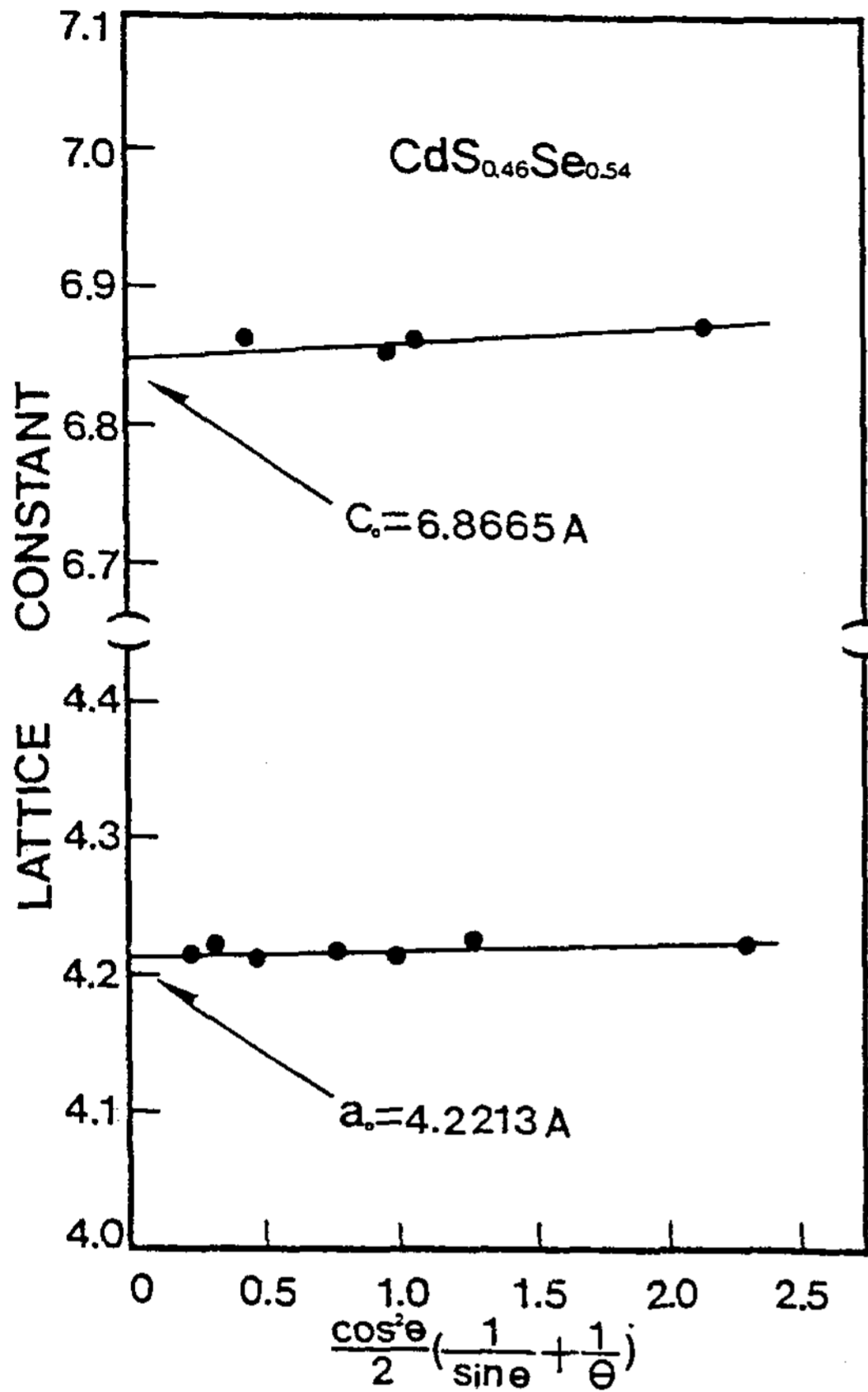


Fig. 9 Extrapolation of measured lattice parameter a_0, c_0 against

$$\frac{1}{2} \left(\frac{\cos^2\theta}{\sin\theta} + \frac{\cos^2\theta}{\theta} \right)$$

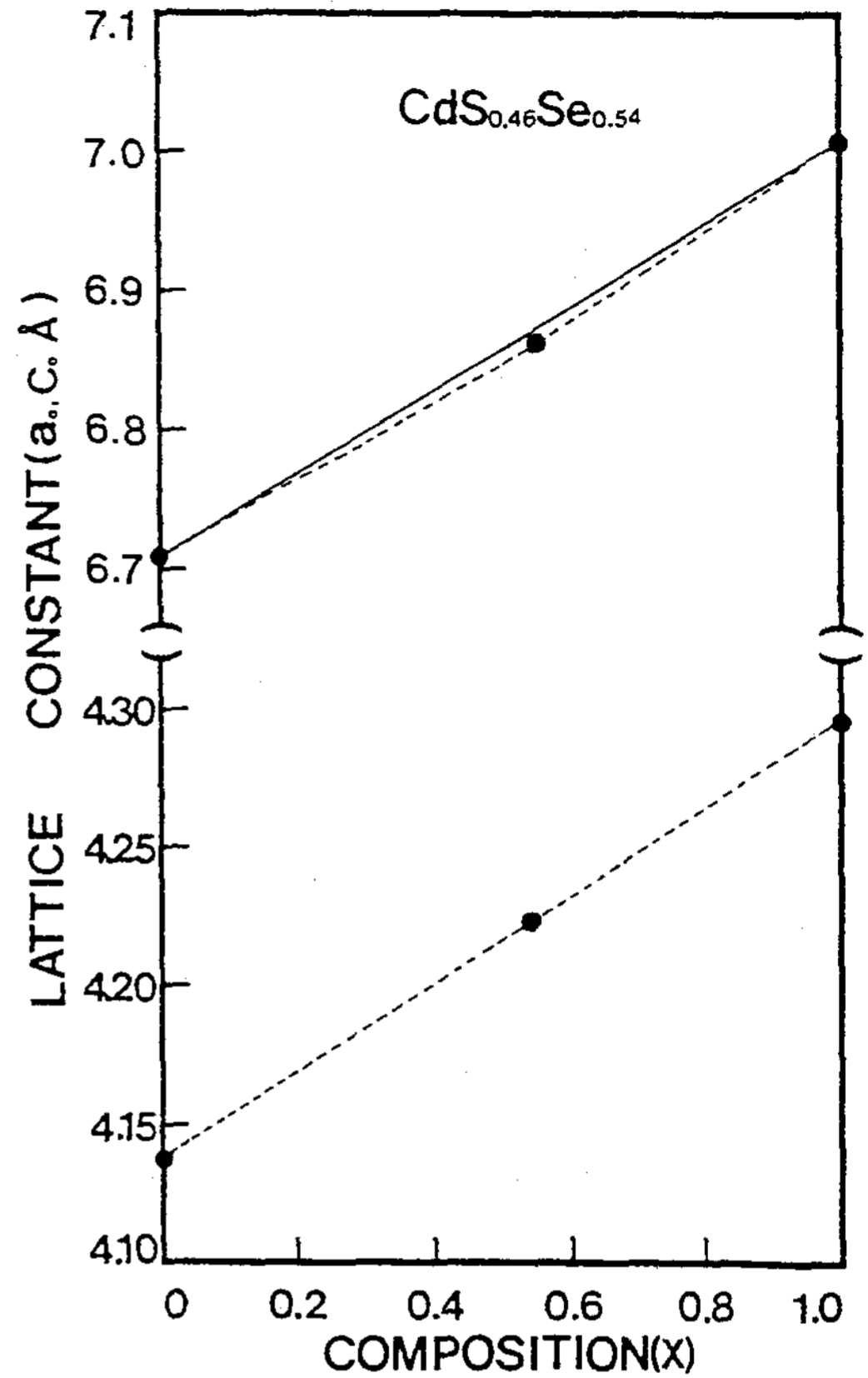


Fig. 10 Variation of lattices constants a_0 and c_0 versus composition X for $CdS_{1-x}Se_x$.

Table 2. Result analysis on Hall effect CdS_{0.46}Se_{0.54} single crystal grown by sublimation method.

Tem. (K)	carrier density $n(m^{-3})$	Hall coefficient $R_H (m^3/C)$	conductivity $\sigma(\Omega^{-1}m^{-1})$	Hall mability $\mu(m^2/V\text{-sec})$
293	6.88×10^{23}	-9.07×10^{-5}	1522.23	1.38×10^{-2}
270	5.50×10^{23}	-1.13×10^{-5}	1658.26	1.88×10^{-2}
250	4.59×10^{23}	-1.36×10^{-5}	1717.91	2.34×10^{-2}
230	3.93×10^{23}	-1.59×10^{-5}	1790.66	2.84×10^{-2}
200	3.44×10^{23}	-1.82×10^{-5}	1800.65	3.27×10^{-2}
180	3.06×10^{23}	-2.04×10^{-5}	1671.54	3.41×10^{-2}
150	2.75×10^{23}	-2.27×10^{-5}	1523.03	3.46×10^{-2}
130	2.50×10^{23}	-2.50×10^{-5}	1391.08	3.47×10^{-2}
100	2.29×10^{23}	-2.72×10^{-5}	1319.46	3.59×10^{-2}
77	2.12×10^{23}	-2.95×10^{-5}	1270.57	3.75×10^{-2}
50	1.83×10^{23}	-3.40×10^{-5}	1192.92	4.06×10^{-2}
30	1.62×10^{23}	-3.86×10^{-5}	1160.84	4.48×10^{-2}

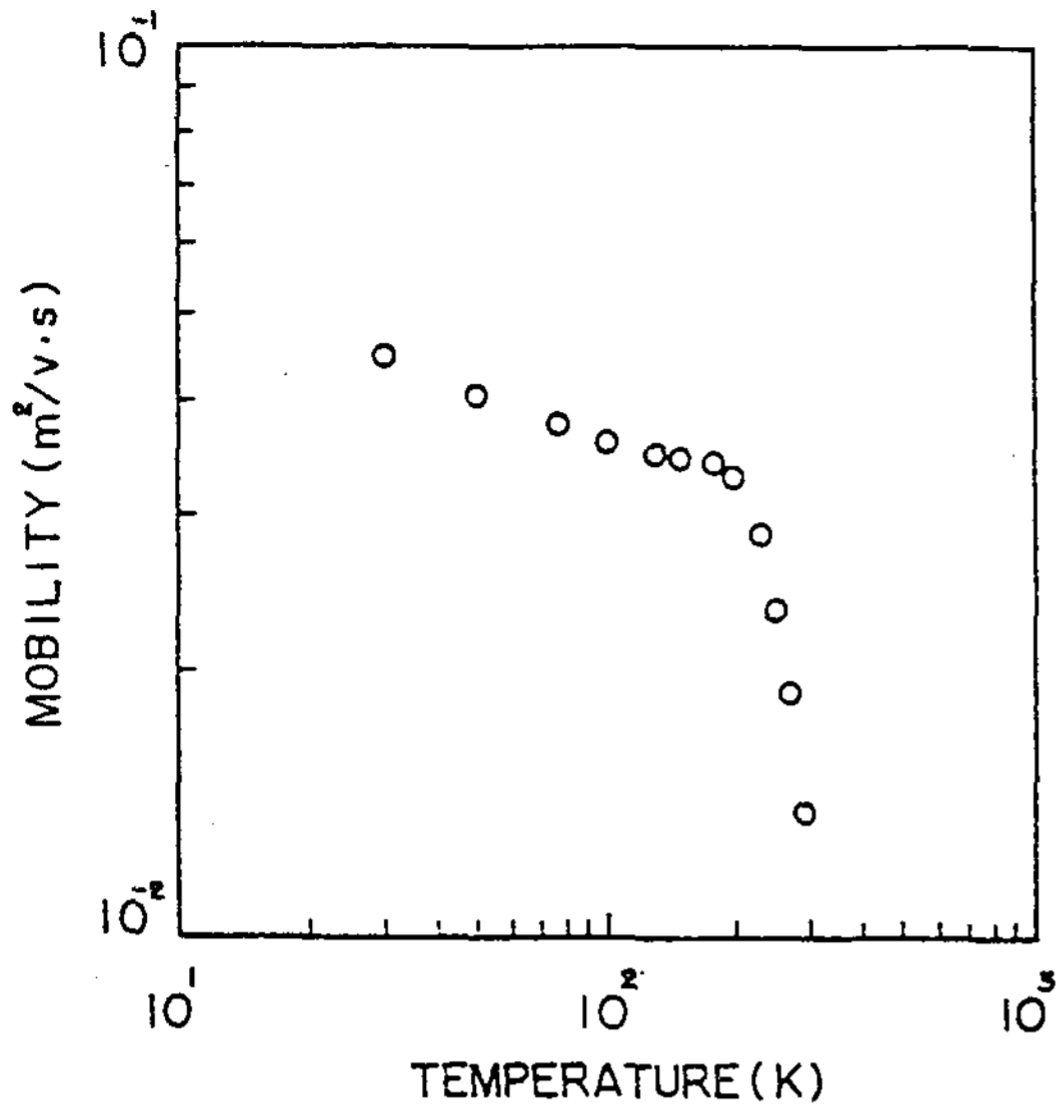


Fig. 11 Variation of mobility with temperature in CdS_{0.46}Se_{0.54} single crystal grown by sublimation method.

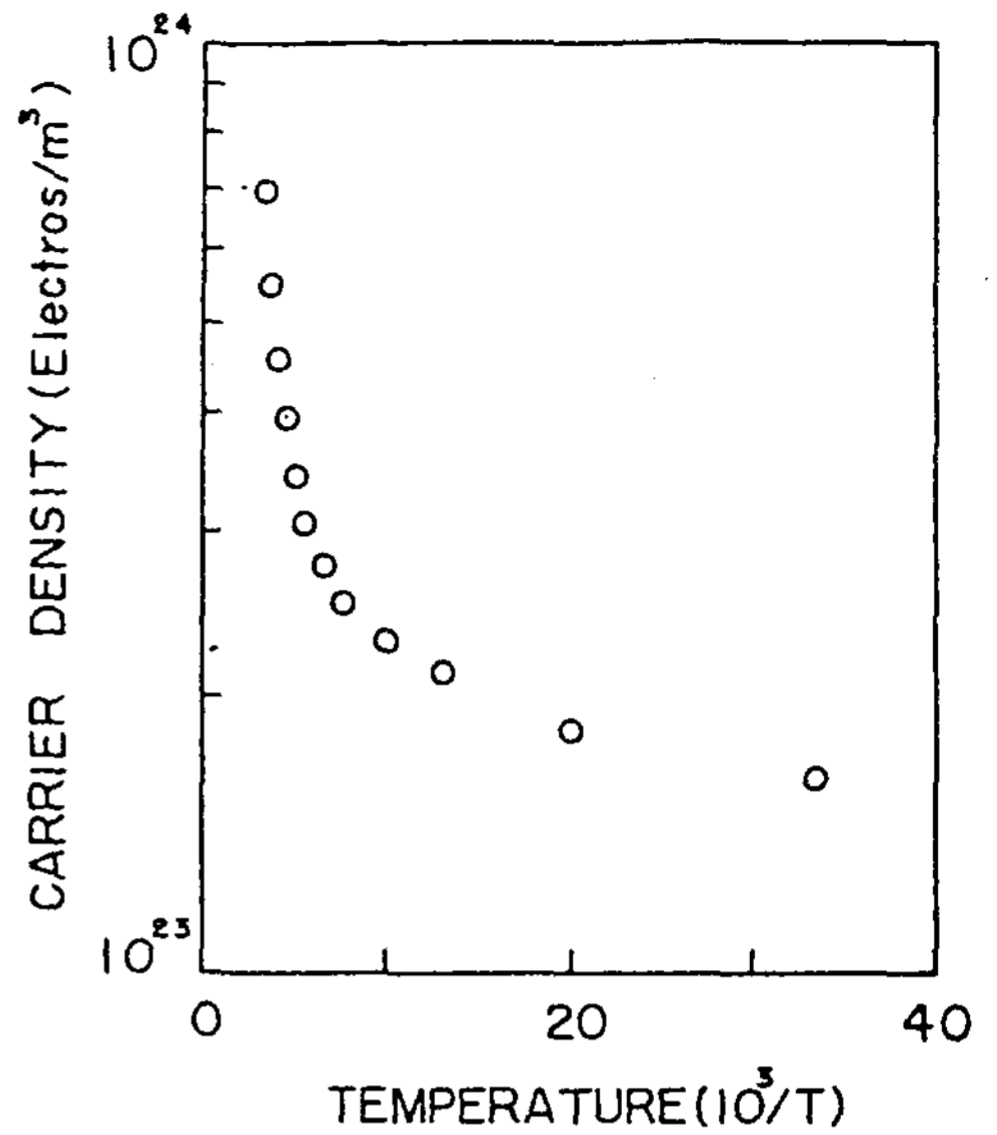


Fig. 12 Variation of carrier density with temperature in CdS_{0.46}Se_{0.54} single crystal grown by sublimation method.

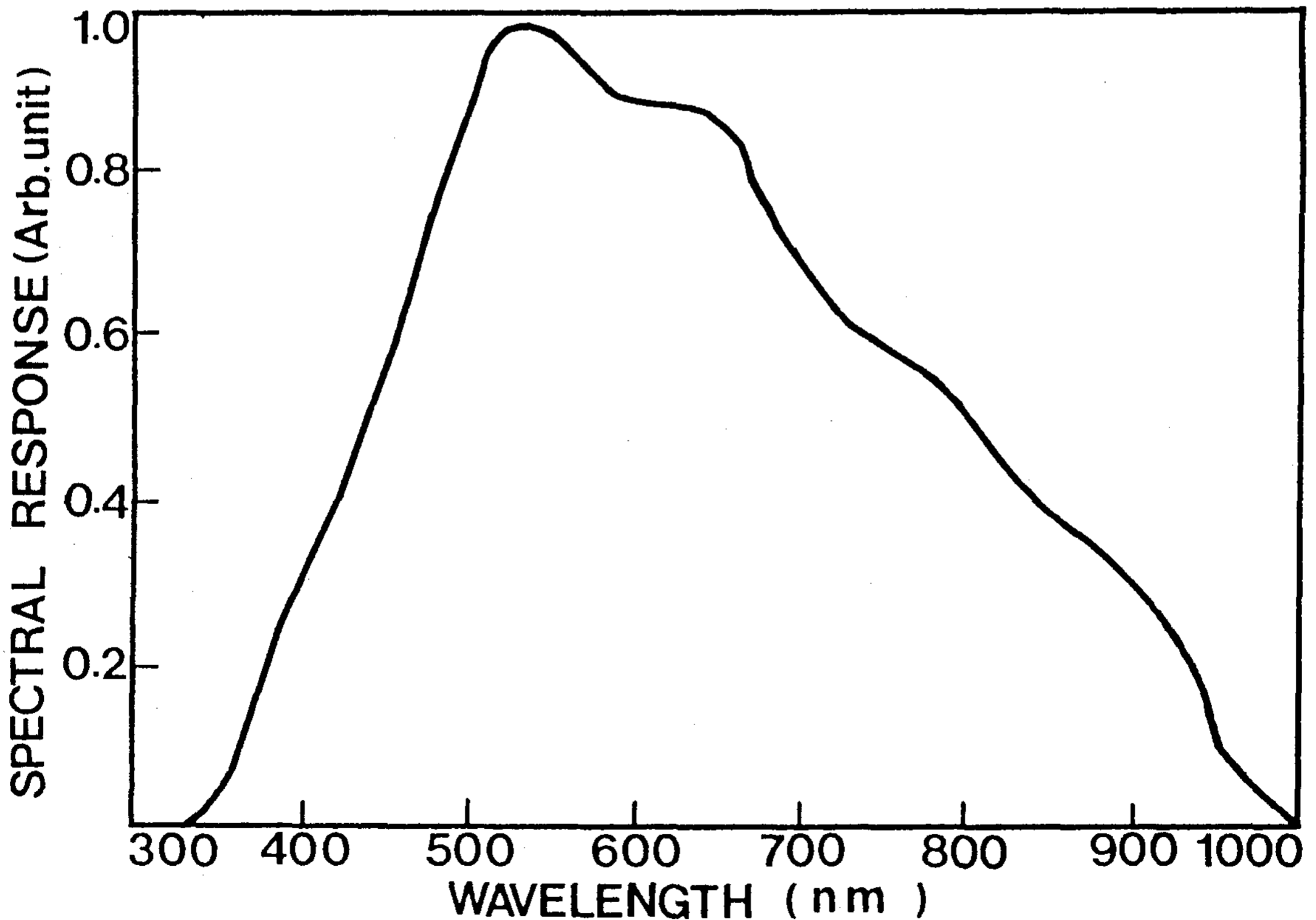


Fig. 13 Spectral response of n-CdS_{0.46}Se_{0.54}/p-Cu_{2-x}S_{0.46}Se_{0.54} solar cells.

이종접합 태양전지에 대한 spectral response의 측정결과는 Fig.13과 같다. Fig.13에서 보는 바와 같이 n-CdS_{0.46}Se_{0.54}/p-Cu_{2-x}S_{0.46}Se_{0.54} 이종접합 태양전지는 300nm부터 spectral response가 증가하기 시작하여 1000nm에서 spectral response가 감소하는 비교적 넓은 광영역을 갖고 있음을 알 수 있다.

전반적으로 spectrum peak는 CdS_{0.46}Se_{0.54}의 peak보다 장파장대 쪽으로 옮겨갔으며, 1000nm 이상에서 감소하는 것은 Cu_{2-x}S_{0.46}Se_{0.54}의 흡수단에 가까워지기 때문에 일어나는 현상으로 여겨진다.

2.2. n-CdS_{0.46}Se_{0.54}/p-Cu_{2-x}S_{0.46}Se_{0.54}

이종접합 태양전지의 J-V 특성

n-CdS_{0.46}Se_{0.54}/p-Cu_{2-x}S_{0.46}Se_{0.54} 이종접합 태양전

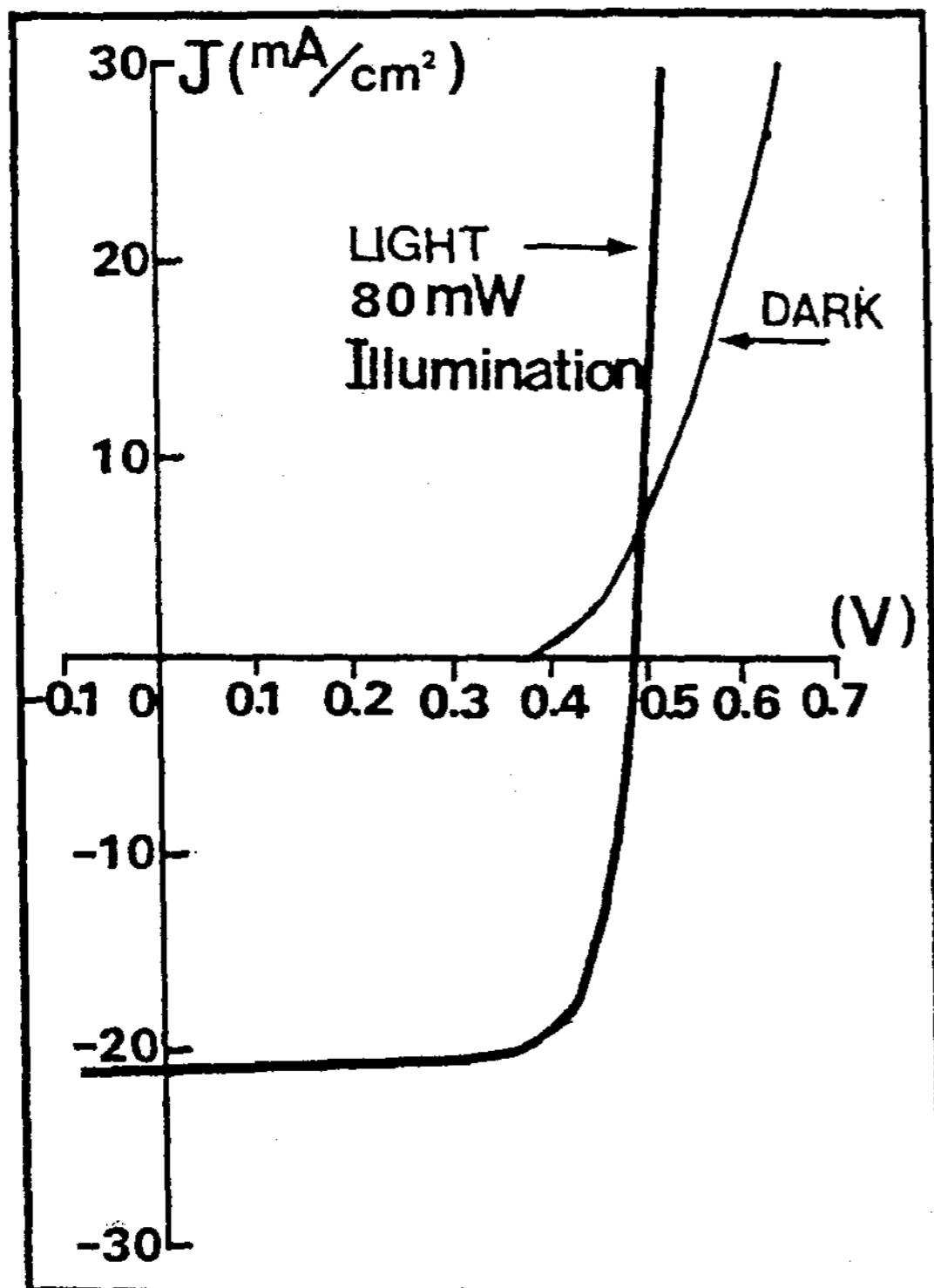


Fig. 14 J-V characteristics on n-CdS_{0.46}Se_{0.54}/p-Cu_{2-x}S_{0.46}Se_{0.54} heterojunction solar cells.

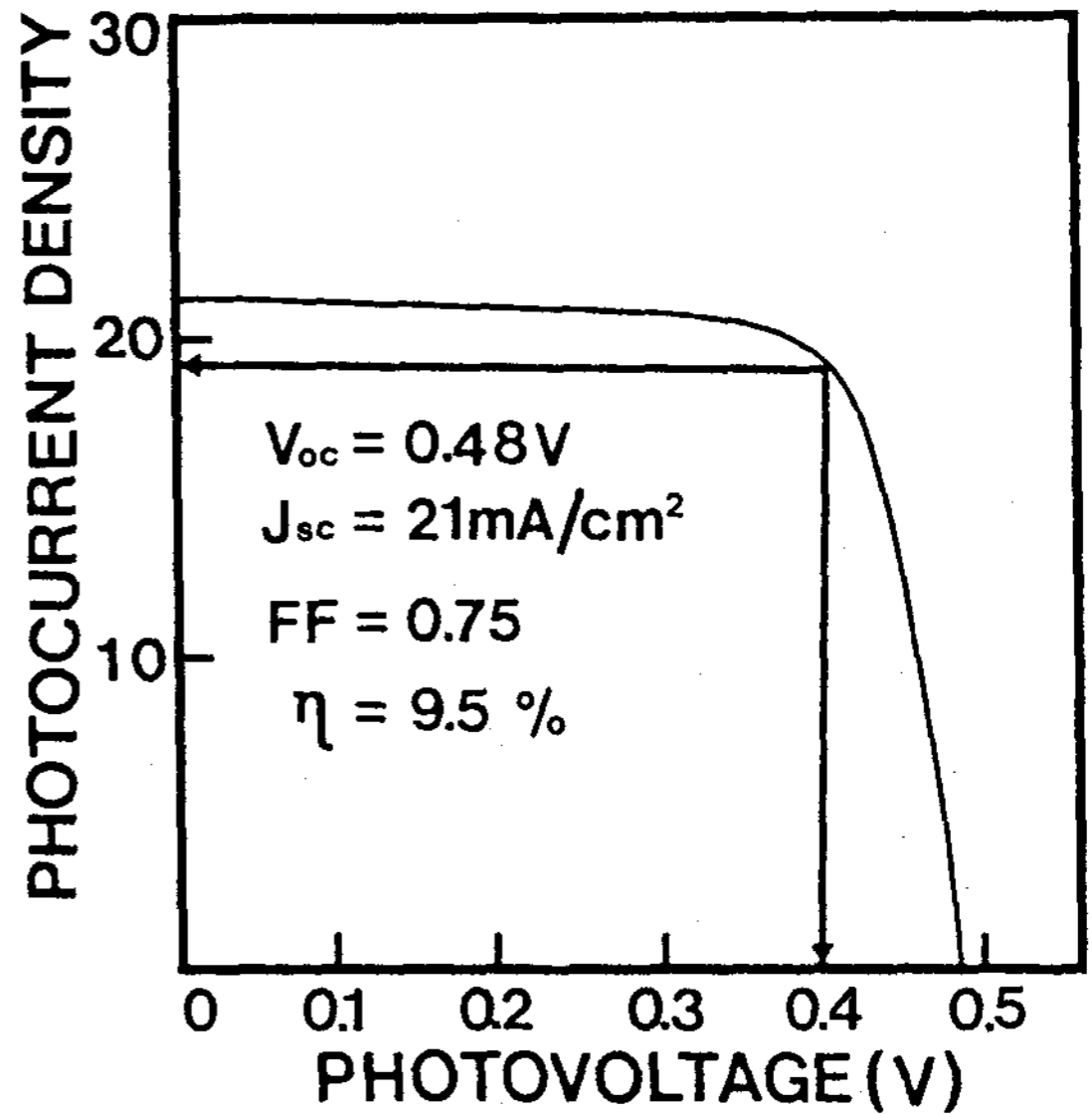


Fig. 15 J-V characteristics on n-CdS_{0.46}Se_{0.54}/p-Cu_{2-x}S_{0.46}Se_{0.54} heterojunction solar cells under 80mW/cm² illumination.

지에 tungsten lamp에서 나온 80mW/cm²의 광을 조사시켜 측정한 J-V 특성곡선은 Fig.14와 같고 출력특성은 Fig.15와 같다. Fig.15에서 보는 바와 같이 개방 전압(V_{oc})은 0.48V, 단락 전류밀도(J_{sc})는 21mA/cm²이었다. 최대 출력점에서의 전압(V_{mp})은 0.40V, 전류밀도(J_{mp})는 19mA/cm²이고 fill factor는 $F.F = J_{mp} V_{mp} / J_{sc} V_{oc}$ 에 의해서 0.75이며 태양전지의 전력 변환 효율은 $\eta = J_{mp} V_{mp} / P_{in}$ 에 의해서 9.5%였다.

제작된 태양전지는 시일이 경과되면 태양 복사열에 의해 태양전지가 손상되어 수명이 급격히 감소하므로 공기의 접촉과 복사열을 방지할 수 있는 보호막 뿐만 아니라 dipping time에 의한 Cu₂막의 화학적 조성조절, annealing time, 그리고 sample resistance등의 상호 최적조건에 대한 꾸준한 연구가 필요하다.

V. 결 론

승화방법으로 CdS_{0.46}Se_{0.54} 단결정을 성장시켜

기본 물성을 조사하고, n-CdS_{0.46}Se_{0.54}/p-Cu_{2-x}S_{0.46}Se_{0.54} 이종접합 태양전지를 제작하여 특성을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 승화방법으로 성장한 CdS_{0.46}Se_{0.54} 단결정을 외삽법으로 구한 격자 상수는 $a_0 = 4.2213 \pm 0.0073$ Å과 $c_0 = 6.8665 \pm 0.0169$ Å이었다. Vegard 법칙에 의해 구한 CdS_{1-x}Se_x 결정계의 화학적 조성비 x는 0.54였다.

2. 승화방법으로 성장한 CdS_{0.46}Se_{0.54} 단결정의 Hall effect를 293K에서 30K까지 온도 변화를 주면서 측정한 결과 상온에서 carrier density n은 $6.88 \times 10^{23} \text{m}^{-3}$, Hall coefficient R_H는 $-9.07 \times 10^{-6} \text{m}^3/\text{C}$, conductivity σ는 $1522.23 \Omega^{-1} \text{m}^{-1}$, Hall mobility μ는 $1.38 \times 10^{-2} \text{m}^2/\text{V.s}$ 였다.

3. 수광면적이 1cm²가 되도록 만든 n-CdS_{0.46}Se_{0.54}/p-Cu_{2-x}S_{0.46}Se_{0.54} 이종접합 태양전지의 개방전압 (V_{oc})은 0.48V, 단락 전류밀도(J_{sc})는 21mA/cm², fill factor는 0.75로서 전력변환 효율은 9.5% 였다.

Reference

1. Martin A. Green, Solar Cell. Trentice-Hall, Inc. Pe. (1982)
2. W. G. Adams and R. E. Day ; Peroc. of Royal Soc. of London. 25, 113 (1976)
3. D. M. Chapin ; J. Appl. Phys. 25, 676 (1954)
4. A. G. Milnes and D. L. Feucht, "Heterojunction and Metal Semiconductor Junction" Academic press, p.9 (1972)
5. D. C. Reynolds, G. Levies, L.L. Antes, and R. E. Marger, Phys. Rev. 96, 533 (1954)
6. A. E. Carlson, WADC Tech. Rep. p.56~62 (1956). 1
7. A. M. Bornett, J. A. Brgagnolo, R. B. Hall, Conf. Rec. X IIIth IEEE Potov. Spec. Conf. Washington, D. C. June 5-8, 1979. p.419
8. V. N. Komashenko and G. A. Fedorus, Soviet Physics, Semiconductor, 1, 4 (1967)
9. G. A. Fedorus and V. N. Komashenko, Soviet Physics, Semiconductor, 3, 8 (1970)
10. L. J. Van der Pauw, Phillips Rep. 13, 1 (1958)
11. R. Chwang, B. J. Smith and C. R. Crowell, Solid State Electrons, 17, 1217 (1974)
12. V. N. Komashchenko and G. A. Fedorus, Ukr. Fiz. Zhurm, 688 (1968)
13. J. J. Loferski, J. Appl. Phys. 777 (1956)
14. K. Zweibel, Vacuum Tech., 131 (1985)
15. P. M. Hemengerm, Rev. Sci. Instrum. 44, 698 (1973)
16. B. L. Sharma and R. K. Piupohit, "Semiconductor Heterojunction" (Pergamon Oxford 1984), p.54
17. A. G. Milnes, and D. L. Fercht, Heterojunction and Metal-Semiconductor Junction (Academic Press, New York, 1972). p.45
18. Y. Sakal, J. Appl. Phys. 2, 662 (1965)
19. K. Shimizu, J. Appl. Phys. 4, 627 (1965)
20. Brian Ray, II - VI Compound, (Pergamon Press, 1699), pp.45~46
21. B. D. Cullity, Elements of X-ray Diffraction, 2nd ed. (Addison Wesley New York, 1978), p.356

velocity and temperature distributions.

Mean Nusselt numbers are shown by $\overline{Nu} = C(Ra_L)^m$.

An Experimental Study on Close-Contact Melting in Horizontal Capsules with Circular or Rectangular Cross Sections

Si-pom, Kim* · Chi-woo, Lee**

* Dept. of Mechanical Eng., Dong-A Univ.*

** Test Lab., Daewoo Public Motors Co.

This empirical paper addresses the phenomena of the contact melting of PCM in horizontal capsules of circular and rectangular cross sections with various aspect ratio.

The melting-rate tends to increase as the Stefan number increases. The case of rectangular tube displays larger melting-rate than that of circular tube, and the melting-rate increases as the aspect ratio decreases for rectangular tubes. In case of circular tube, the effect of natural convection on the melting-rate is 6.1%, 8.6% and 11.2% according to Stefan number 0.0772, 0.1287 and 0.1802 respectively.

The Study of the Fabrication and Characteristics of n-CdS_{0.46}Se_{0.54}/p-Cu_{2-x}S_{0.46}Se_{0.54} heterojunction Solar Cells

Sang-Ha, You · Seung-Pyung, Choi · Sang-Youl, Lee · Kwang-Joon, Hong
Sang-Suhg, Suh · Hye-Suk, Kim, Seung-Yong, Jeon · Eun-Hee, Yun*
Jong-Dae, Moon** Yeong-Jin, Shin · Tae-Soo, Jeong · Hyun-Keel, Shin
Tack-Sung, Kim*** Kee-Soo, Rheu****

* Department of Physics, College of Natural Sciences, Chosun University

** Department of Physics, College of Natural Sciences, Dongshin University

*** Department of Physics, College of Natural Sciences, Jeonbuk National University

**** National Industrial Technology Institute of Jeonbuk

CdS_{0.46}Se_{0.54} single crystal was grown by a sublimation method.

The crystal structure and the temperature dependence of carrier density and mobility of CdS_{0.46}Se_{0.54} single crystal were studied.

Heterojunction solar cells of n-CdS_{0.46}Se_{0.54}/p-Cu_{2-x}S_{0.46}Se_{0.54} were fabricated by the substitution reaction.

The spectral response, the J-V characteristics and the conversion efficiency of the n-CdS_{0.46}Se_{0.54}/p-

$\text{Cu}_{2-x}\text{S}_{0.46}\text{Se}_{0.54}$ heterojunction solar cells were studied.

The open-circuit voltage, short-circuit density, fill factor and conversion efficiency of n- $\text{CdS}_{0.46}\text{Se}_{0.54}$ /p- $\text{Cu}_{2-x}\text{S}_{0.46}\text{Se}_{0.54}$ heterojunction solar cells under $80\text{mW}/\text{cm}^2$ illumination were found to be 0.48V, $21\text{mA}/\text{cm}^2$, 0.75 and 9.5%, respectively.

An Experimental Study on the Augmentation of Heat Transfer by Impinging Air Jets with Swirl

Su-Cheol Ohu* · Sung-Soo Park**

* *Inha Univ.*

** *Graduate School, Inha Univ.*

This Paper deals with the experimental study of the axisymmetric air jet impinging vertically on the flat heating surface with and without swirl. The purpose of this study is to investigate the characteristics of flow, augmentation of heat transfer rate, turbulent intensity, and the comparison of heat transfer rate, the optimal swirling condition about the swirl and nonswirl axisymmetric air jet. In order to augment the heat transfer on the flat heating surface without introducing any additional power, the technique used in the present work was placement of twisted tape inserted pipe in front of the nozzle exit in order to make a swirl. The effect of swirl degree is investigated in case of $S=0.$, 0.056, 0.111, 0.222 and the velocity of the jet was 14, 20, 26, 32, 38, 44m/s. The distance between the nozzle exit and the stagnation point on the impinging plate was the $H/D=1\sim 14$. In order to analyze of the flow structure which increase heat transfer, the velocity and the turbulent intensity of the axisymmetric jet was measured by a hot wire anemometer according to the swirl number and H/D .

A Revaluation Study of Cheju-Do Solar Insolation Data by Field Measurement

Jo, Dok-ki · Lee, Tae-Kyu · Kim Chun, Il-Soo · Cho, Suh-Hyun

Auh, Chung-Moo

Korea Institute of Energy Research

Solar radiation intensity in Cheju-Do has been measured and analyzed to study the its characteristic and the possibility of the alternative energy.

This work will also support the on-going project "Clean Enertopia in Cheju" which is strongly driven by government recently.

The results of this project indicate that

- 1) Insolation in Cheju-Do is 10% lower than Southern coastal area.
- 2) A significant difference of insolation is observed between western and eastern part of Cheju-Do.