

Au/CdTe Schottky Junction의 Barrier Height에 관한 연구

崔致圭, 玄東杰*

A Study on the Barrier Height of Au/CdTe Schottky Junction

Choi Chi-kyu, Hyoun Dong-gol

Summary

The effective barrier height ϕ_{Bn} in a metal-semiconductor tunnel junction was obtained by the Bethe's thermionic emission theory.

Au/CdTe Schottky junction was prepared on the slide glass coated with SnO_2 by the C.V.D. method, and the evaporation of CdTe was carried out in a vacuum of $\sim 10^{-6}$ torr. Its current-voltage characteristics were investigated in details at a room temperature.

The barrier heights deduced from saturation current I_{SF} with I-V characteristics was, $\phi_{Bn} = 0.58\text{eV}$, and ideality factor $n = 1.7$.

I. 緒 言

금속-반도체 접합은 minority carrier storage time이 없어서 carrier 수송현상이 우수하여 metal base transistor, Schottky-barrier gate field effect transistor, avalanche-diode, 태양전지등 많은 광전소자 제작에 이용되고 있다.

Schottky effect는 금속-반도체 접합에 있어서 image force와 전기장에 의해서 나타나는 metal work function의 lowering이므로, 두 전극이 아주 얇은 절연 film에 의하여 떨어져 있을 때 두 전극사이의 전류는 전자의 tunnel effect에 관계되며, 전자의 tunnel ef-

* 제주대학교 강사

fect 는 그 경계면에서 effective barrier height 에 의하여 결정된다.¹⁾ 이와같은 effective barrier height 의 결정은 여러가지 물질에 대하여 Simmens, Snow, Morris 와 Lewicki 등에 의해 보고된 바 있다.²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾ 특히 Arizumi 와 Hirose 는 금속-반도체 Schottky diode 의 전류수송 현상이 대체로 thermionic emission 과 image force effect 에 의해서 지배됨을 실험적으로 확인된 바 있다.⁶⁾

따라서 본 실험에서는 energy band gap 이 1.528eV 이고, 상대유전율이 10.1 로써 carrier 수송현상이 우수한 II-VI족 화합물 반도체 CdTe 의 Schottky barrier height 를 측정하기 위하여 금속전극 Au 와 Schottky junction 을 제작하였다.⁷⁾⁸⁾⁹⁾

Bethe 의 thermionic emission 이론을 기초로 하여 dark 상태와 광조사시 인가전압에 따른 전류-전압특성 곡선으로부터 포화전류 I_{SF} 를 측정하고 barrier height ϕ_{Bn} 을 조사하였다.

II. 模型과 理論

n형 반도체와 금속을 접합시켰을 때 energy band diagram 은 Fig.1 과 같다.¹⁰⁾ 여기서, $q\phi_M$ 은 금속의 일함수이고, $q\chi$ 는 전자친화도, Δ 는 interfacial layer 양단간의 전위 $q\phi_0$ 는 표면상태의 에너지 준위이다. 이제 $q\phi_0$ 에서 Fermi 준위에 걸쳐 표면 상태 밀도가 D_{sa} (states/cm²/eV) 인 반도체에 대해 생각하면, interfacial state charge density Q_{SS} 는

$$Q_{SS} = -qD_{sa}(E_f - q\phi_0 - q\phi_{Bn} - q\Delta\phi) \quad (1)$$

로 주어진다. 여기서, ϕ_{Bn} 은 유효 장벽 포텐셜이고, $\Delta\phi$ 는 image force lowering에

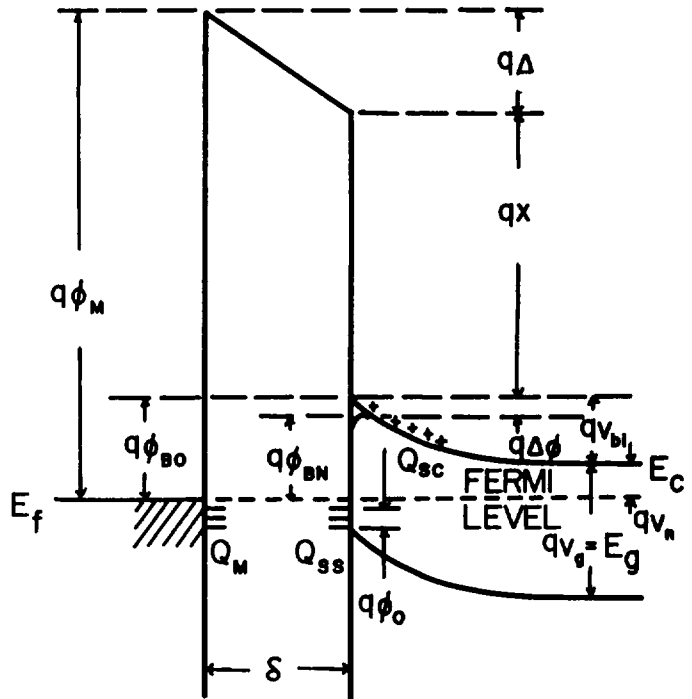


Fig.1. Band Diagram of a Metal n-type Semiconductor

의한 전위이다. 열평형 하에서 공핍층내의 반도체 표면에 형성된 공간전하밀도 Q_{sc} 는

$$Q_{sc} = [2q\epsilon_s N_D (\phi_{Bn} - V_n + \Delta\phi - \frac{KT}{q})]^{1/2} \quad (2)$$

로 주어지고, V_n 은 neutral region 에서 전도대와 Fermi 준위 사이의 전위이고, ϵ_s 는 반도체의 유전율, N_D 는 n형 반도체의 donor 밀도를 나타낸다. 금속과 반도체 사이에 negative surface fixed charge density Q_s 가 존재하면 금속표면에 유도되는 전하밀도 Q_M 은

$$Q_M = -(Q_{ss} + Q_{sc} - Q_s) \quad (3)$$

으로 주어진다. Fig.1 에서 interfacial layer 양단간의 전위 Δ 는

$$\Delta = \phi_M - (\chi + \phi_{Bn} + \Delta\phi) \quad (4)$$

로 주어지고, 또 이 전위는 금속의 표면전하에 Gauss 법칙을 적용 함으로써

$$\Delta = -\delta Q_M / \epsilon_i = (\delta / \epsilon_i) (Q_{ss} + Q_{sc} - Q_s) \quad (5)$$

로도 표현될 수 있다. 여기서 δ 는 interfacial layer 의 두께이고, ϵ_i 는 interfacial layer 의 유전율이다. 식 (3), 식(4)와 식(5)로 부터 barrier height 는

$$\begin{aligned} \phi_{Bn} = & \{ C_2 (\phi_M + \frac{\delta}{\epsilon_i} Q_s - \chi) + (1 - C_2) (\frac{E_g}{q} - \phi_0) - \Delta\phi \} \\ & + \{ \frac{C_1 C_2^2}{2} - C_2^{\frac{3}{2}} [C_1 (\phi_M - \chi + \frac{\delta}{\epsilon_i} Q_s) + (1 - C_2) (\frac{E_g}{q} - \phi_0) \frac{C_1}{C_2} \\ & - \frac{C_1}{C_2} (V_n + \frac{kT}{q} + \frac{C_2^2 C_2}{4})]^{\frac{1}{2}} \} \end{aligned} \quad (6)$$

으로 주어진다. 여기서 C_1 과 C_2 는 각각

$$C_1 = \frac{2q\epsilon_s N_D \delta^2}{\epsilon_i^2} \quad C_2 = \frac{\epsilon_i}{\epsilon_i + q^2 \delta D_{Ss}}$$

이다. 실제로 Schottky junction 에서는 interfacial layer 의 두께 δ 는 4 ~ 5 Å 정도 이므로 C_1 이 작아서 식(6)에서 두번째 항은 무시할 수 있고 이런 얇은층의 유전율 ϵ_i 는 자유공간 유전율 ϵ_0 와 거의 같으므로 barrier height 는

$$\begin{aligned} \phi_{Bn} = & [C_2 (\phi_M - \chi) + (1 - C_2) (\frac{E_g}{q} - \phi_0)] \\ & + \frac{\delta}{\epsilon_0} C_2 Q_s - \Delta\phi \end{aligned} \quad (7)$$

으로 주어지며 식(7)의 첫번째 항은 negative fixed surface charge 가 없을 때의 barrier height 이고 이것을 ϕ_{B0} 로 두면 식(7)은

$$\phi_{Bn} = \phi_{B0} + \frac{\delta}{\epsilon_0} C_2 Q_s - \Delta\phi \quad (8)$$

으로 표현될 수 있다. 따라서 negative fixed surface charge가 존재하면 barrier height가 더 높아짐을 알 수 있다.

III. 實 驗

측정용 시료를 제작하기 위하여 먼저 유리기판 (Cornig 2749)을 물리적 및 화학적 방법으로 세척하여 C,V,D, 방법으로 SnO₂ 막을 만들었다. Fig.(2)에서 보는 바와 같이 결정면이 (211)면을 포함하는 polycrystalline 이었으며, 사용된 불순물 Sb는 0.7%로 혼합하였고, 기판온도가 ~500°C일 때 sheet 저항이 20 Ω/□ 정도로 최적조건을 이루었다.

SnO₂ 투명전극막 위에 CdTe (日本, 高純度 化學 5N, powder)를 진공증착기 (Varian NRC 3115 Type)를 사용하여 ~10⁻⁶ torr의 진공도에서 증착하였다. CdTe가 진공중에서 가열되어 증발할 때 성분원소로 분해하는 경향이 있으므로 박막을 제작하는 도중 substrate 물질, 증착속도 및 온도 등의 parameter 등을 충분히 고려하였다.

substrate 온도가 T ≤ 100 °C일 때는 slide glass 위에 막의 성장은 과도한 Te량으로 nonstoichiometric 성장이 일어났으며, T ~ 200 °C에서 Fig.(3)과 같이 좋은 stoichiometric polycrystalline thin film이 이루어졌다.

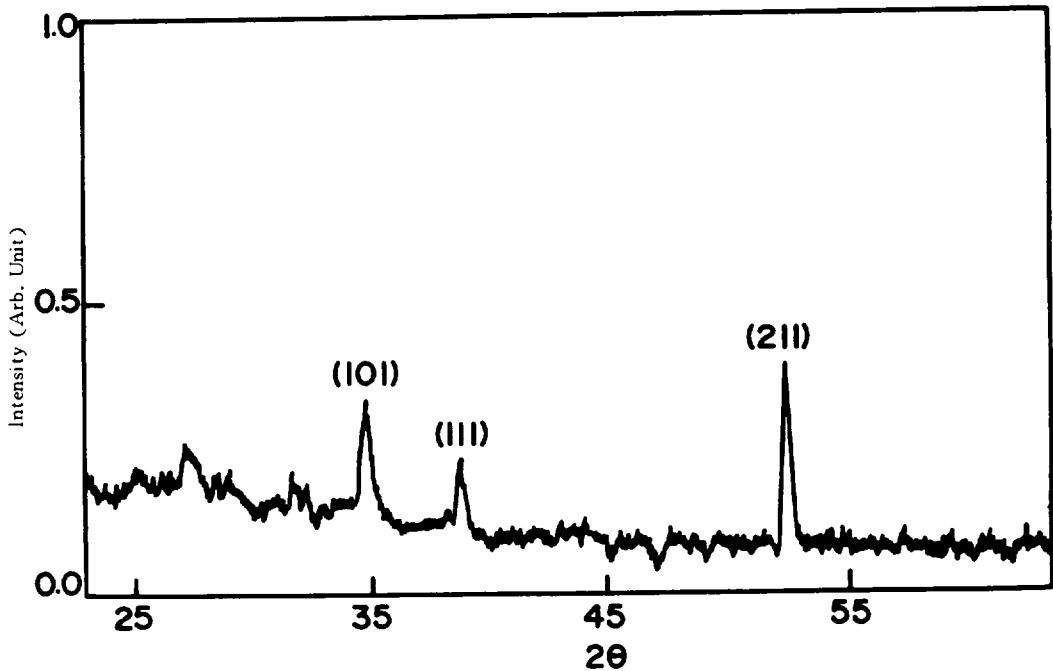


Fig. 2. X-ray Diffraction Pattern of SnO₂ Thin Film

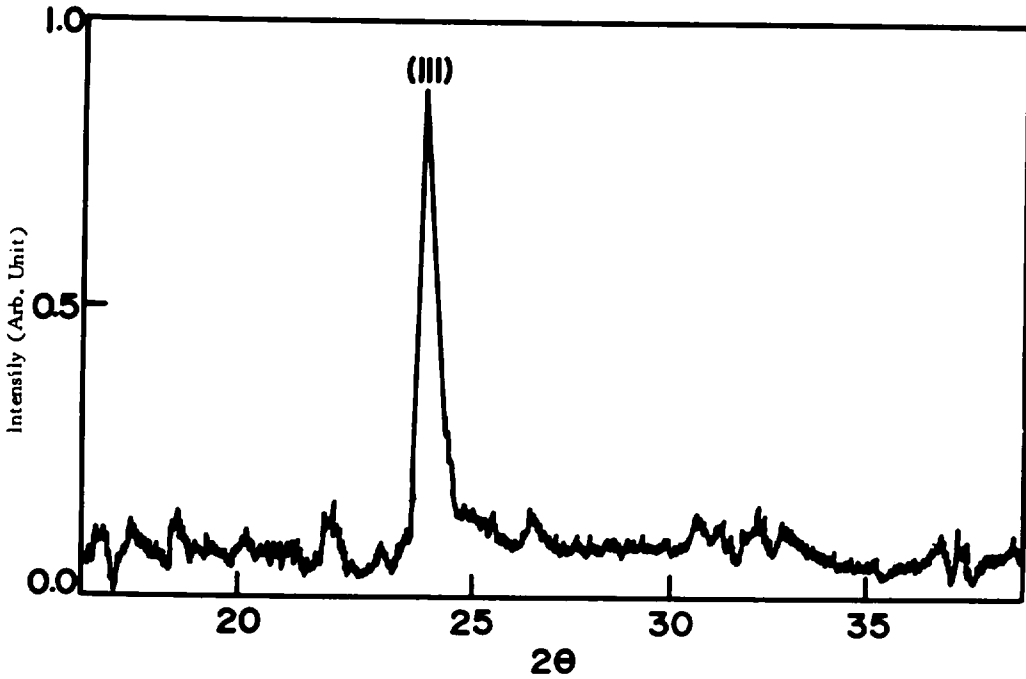


Fig. 3. X-ray Diffraction Pattern of CdTe Thin Film.

전극은 순도 99.999 %의 Au (E.S.P.I., 5N, wire)를 CdTe 가 증착된 부분 위에 반경 2.5 mm 원형으로 하여 Au-CdTe Schottky diode 를 제작하였다. 증착 도중에 substrate 의 온도는 thermocouple 을 사용하여 측정하였고 시료의 두께는 Varian Angstrom Interferometer Model 980-4600 에 의해 6000 Å' 을 얻었다.

Fig.(4) 에서 보인 바와 같이 cell 을 원통 mount 에 고정시키고 인가전압을 변화시키면서 electrometer(Keithley 610C)로 전류를 측정하였으며, 조사광원은 Fiber light source 로 하였다. SnO₂ 와 CdTe 막의 결정 구조는 X-ray diffractometer(Shimadzu VD-1)을 이용하여 확인하였다.

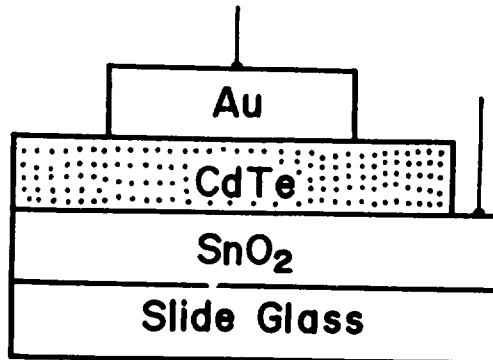


Fig. 4. Schematic Diagram of Au / CdTe Schottky Junction.

IV. 結果 및 考察

제작된 시료의 비저항은 $\sim 10^8 \Omega \cdot cm$ 였으며 이들에 대한 전류-전압특성 곡선은 Fig. (5)와 같이 나타났다.

순방향에 대한 포화전류 I_{SF} 의 값은 dark 상태일 때 $1.2 \times 10^{-6} A$, 광조사시 I_{SF} 의 값은 $2.8 \times 10^{-5} A$ 로 주어졌다. 전류는 좁은 영역에서만 전압과 지수적으로 나타난다는 것을 알 수 있었다.

Bethe의 thermionic emission 이론에 의하면 금속-반도체접합의 전류-전압 특성은 순방향일 때의 총 전류가 다음과 같이 표시된다.

$$I_F = I_{SF} \left\{ \exp\left(\frac{qV}{nkT}\right) - 1 \right\} \quad (9)$$

여기서 I_{SF} 는 순방향의 포화전류로써 전류-전압 특성곡선에서 구할 수 있으며, 다음식으로 주어진다.

$$I_{SF} = aA^{**} T^2 \exp\left(-\frac{q\phi_{Bn}}{kT}\right) \quad (10)$$

$$A^{**} \equiv \frac{4\pi qm^* k^2}{h^3}$$

여기서 A^{**} 는 Richardson constant, q 는 전자의 전하량 k 는 Boltzmann constant, m^* 는 유효질량, h 는 planck constant, ϕ_{Bn} 은 n-type 반도체의 barrier height를 나타내며 식 (10)으로

$$\phi_{Bn} = -\frac{kT}{q} \ln \frac{I_{SF}}{aA^{**} T^2} \quad (11)$$

으로 표현된다.

따라서 barrier height ϕ_{Bn} 은 식 (11)로 부터 구할 수 있으며 그 값은 dark 상태 일때 $\phi_{Bn} = 0.58 \text{ eV}$ 이고, 500 Lux의 광을 조사시킬 경우 $\phi_{Bn} = 0.50 \text{ eV}$ 로 주어졌다. 광주입시 barrier height 값이 감소한 것은 relaxation semiconductor에서 넓은 energy band 상태에서 deep acceptor와 deep donor의 level에 분포하는 electron과 hole이 열화성화되기 때문이며, 이 열화성화가 완료될 때 소수 carrier의 injection으로 인하여 recombination

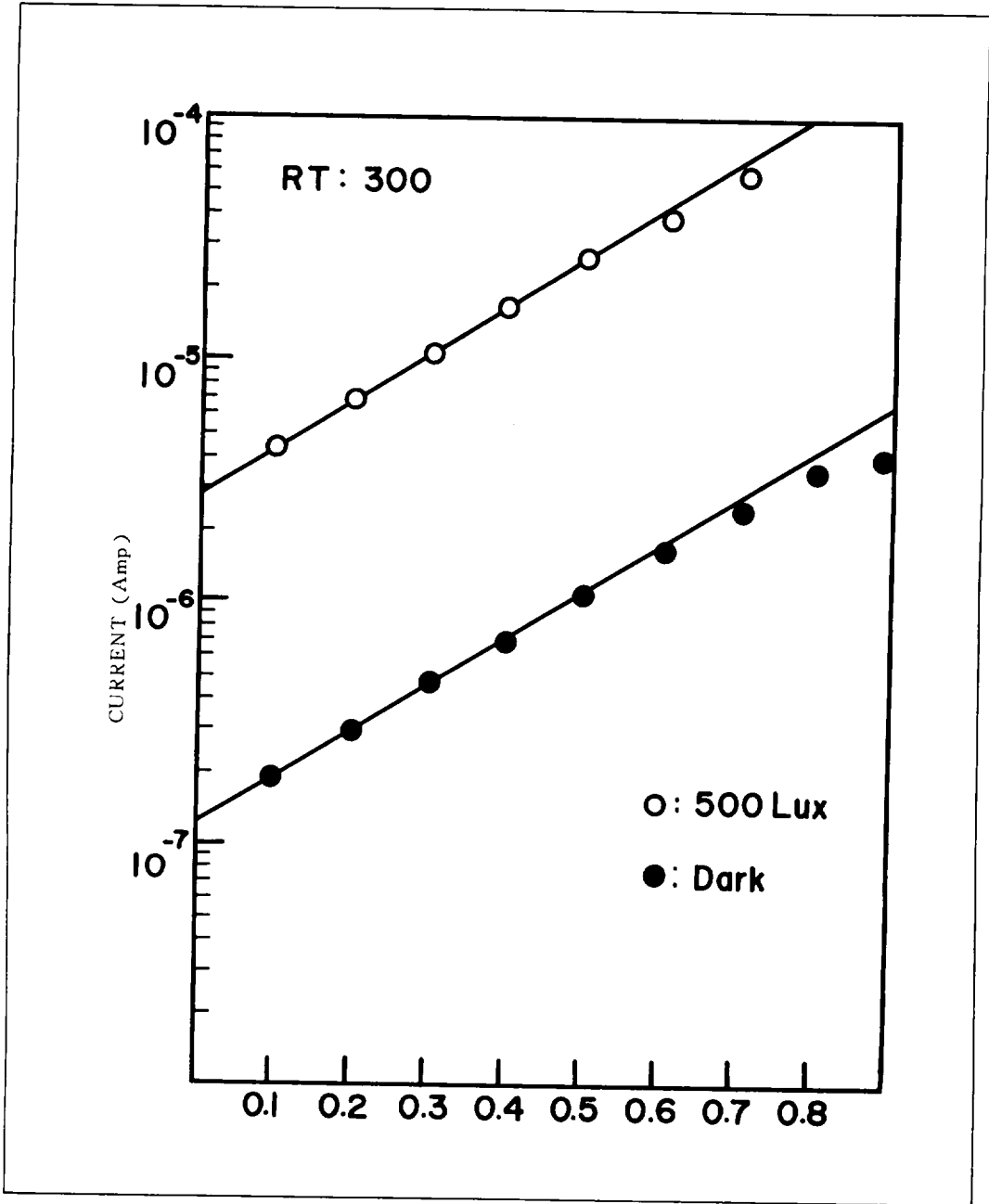


Fig. 5. Forward Current vs. Applied Voltage .

이 일어난다. 이러한 recombination 으로 인하여 carrier 의 보상전하가 증가되어 carrier 가 수송되는 것으로 사료된다.¹¹⁾

또한 ideality factor $n = \frac{q}{kT} \frac{\partial V}{\partial(\ln I_S)}$ 로써 각각 $n = 1.3$ 과 $n = 1.7$ 로 얻어지며, 이 값은 금속-반도체 접합에서 일반적으로 나타나는 ideality factor $n = 1 \sim 2$ 에 잘 만족하고 있다.

Richardson constant A^{**} 값은 유효질량을 실험적으로 구하여 계산한 값이나 이론적으로 계산한 값이 potential barrier 결정에 큰 영향을 주지 않는다는 것을 Hortman 등이 지적한 바 있으므로 본 실험에서는 실온에서 $120 \text{ A} \cdot \text{cm}^2 / ^\circ\text{K}^2$ 로 사용하였다.¹²⁾

V. 結 論

1. 본 실험에서 제작된 SnO_2 막의 Sheet 저항은 $\sim 20 \Omega / \square$ 정도였고, CdTe의 비저항은 $\sim 10^8 \Omega \text{cm}$ 로 얻어졌으며 결정상태는 polycrystalline으로 성장되었다.

2. 전류-전압특성 곡선은 $\ln I \propto V$ 함을 보였으며, 실온에서 측정된 포화전류는 광조사시 $I_{SF} = 2.8 \times 10^{-5} \text{ A}$, dark 상태의 경우 $I_{SF} = 1.2 \times 10^{-6} \text{ A}$ 로 측정되었으며, schottky barrier height 값은 각각 $\phi_{Bn} = 0.50 \text{ eV}$ 와 $\phi_{Bn} = 0.58 \text{ eV}$ 로 주어졌다.

3. ideality factor는 $n = 1.3$ 과 $n = 1.7$ 로 측정되어 일반적인 값 $n = 1 \sim 2$ 에 잘 만족하고 있으며, 광조사시 barrier height 값이 감소되는 경향은 recombination으로 인한 carrier의 보상전하가 증가됨을 보였다.

參 考 文 獻

1. S. M. Sze, Physics of Semiconductor Device. Wiley Co, 365-4000 (1969)
2. J. G. Simmons, J. Appl. Phys. 34, 1973 (1963)
3. A. Y. Yu. and E. H. Snow, J. Appl. Phys. 39, 3008 (1968)
4. S. R. Pollack, and C. E. Morris, J. Appl. Phys. 35, 1502 (1964)
5. G. Lewicki, J. Maserjian, and C. A. M. ead, J. Appl. Phys. 43, 1764 (1972)
6. T. Arizumi, and M. Hirose, Japanese J. Appl. Phys. 8, 749 (1969)

7. B. Segall, and M. R. Lorentz, Phys. Rev. Vol. 129, No.6. 2471 (1963)
8. C. B. Norris, and C. E. Barns, J. Appl. Phys. 48, 4. 1659 (1977)
9. T. Taguchi, Japanese J. Appl. Phys. 12, 10, 1588 (1973)
10. A. M. Cowley, and S. M. Sze, J. Appl. Phys. 36, 3212 (1965)
11. W. V. Roosbroeck, Bull. Am. Phys. Soc. 17, 395 (1972)
12. T. E. Hortman, J. C. Bair, and R. Bayer, J. Appl Phys, 37, 2468 (1966)