

LB 초박막의 전기전도 특성 (II)

- Schottky Current에 대하여 -

이 원재*, 김 재호*, 권 영수**, 홍 언식***, 강 도열***

*경원전문대

**동아대

***홍익대

Characteristic of Electrical Conduction in LB Ultra Thin Films

* Won-Jae Lee, KyungWon College

* Jae-Ho Kim, KyungWon College

** Young-Soo Kwon, Dong-A University

*** Eon-Sik Hong, HongIk University

*** Dou-Yol Kang, HongIk University

Abstract

In this paper, we study the electrical conduction mechanism in Langmuir-Blodgett(LB) ultra thin films. The LB device was a metal/LB films/metal sandwich structure, where metal is electrode. In our experiments, the temperature depend on the current at above 0°C. This phenomena show that the electrical conduction current is a schottky current inherent to LB ultra thin films.

1. 서론

Langmuir-Blodgett(LB)법은 분자의 배열, 배열이 자유로우며, 분자 level에 상당하는 size로서 두께의 제어가 가능하다는 특징 등으로 인하여 전기·전자공학을 비롯한 여러 분야에 중요한 역할을 하게 될 것으로 기대되고 있다¹⁾.

필자들은 여러 종류의 유기 분자를 사용, LB법에 의하여 초박막을 제작하고 있다. 또한 제작된 LB초 박막의 기초적인 전기물성을 조사하여 유기분자의 기능성을 전자디바이스 등에 활용

하려는 연구를 계속하고 있다²⁾. 본 논문은 LB초박막을 금속 전극으로 sandwich시킨 구조에서의 전기전도 특성을 측정된 것으로 실온 부근(0°C이상)에서 schottky성의 전류가 관측되었으므로 이에 대하여 보고한다.

2. 실험 방법

2-1. 시료 제작

실험에 사용한 시료는 arachi acid (C₂₀), TCNQ 분자에 long chain alkyl group를 붙인 CnTCNQ(n = 12~15)를 성막분자로 하였으며 LB막의 누적은 통상의 누적 방법³⁾에 의하여 Z형 및 Y형으로 누적하였다. 그림1에 LB성막 분자와 LB막의 누적 형태에 대한 일 예를 나타내었다.

한편, LB막의 누적은 현미경을 slide glass를 substrate로 하여 그 위에 하부전극으로서 Al를 진공증착(10⁻⁵Torr정도)하였으며, 상부전극 역시 Al 또는 Au를 진공증착하여 사용하였다. 그런데 하부전극 Al에는 자연산화막 Al₂O₃가 생성되었으므로 본 실험에 사용한 시료는 Al/Al₂O₃/LB film/Au(Au)의 Hetero구조이다. 그림2는 실험에 사용한 전극구조이다.

2-2. 측정방법

그림3에 측정장치의 개략을 나타내었다. LB막이 누적된 기판은 일정한 온도의 유지, 누설전류 및 시료의 열화 등을 방지하기 위하여 진공용기(진공도 10^{-6} Torr 정도) 중에서 측정하였다. 시료가 접지된 하부(下部)의 Cu판에 액체질소를 흐르게 하는 파이프와 가열용 heater 및 온도측정용 Cu-Co 열전대를 붙였다. 시료의 온도제어는 액체질소와 heater로서 하였으며 Bias 온도특성, 열자력전류(TSC) 등 전기적 특성을 주로 측정하였다. 그림4는 본 실험에서 사용한 측정회로이다.

3. 실험 결과

그림5 및 6은 실은부근에서의 전류-온도특성을 $\log I - 1/T$ 로 plot한 것이다. 그림5에서 시료에 정(+)전압을 Bias하였을 때는 Bias전압을 변화시켜도 직선의 기울기는 변화가 없지만 그림6의 경우 즉, 역(-)전압을 Bias하여 Bias전압을 변화시키면 Bias전압이 클수록 직선의 기울기가 완만하여지는 것을 알 수 있다. 이와 같은 현상은 직선의 기울기로 부터 구할 수 있는 활성화 에너지에 상당하는 장벽의 높이를 전자가 넘어서 전류가 흐르게 되는 것으로서 Bias전압을 크게 할수록 직선의 기울기가 점점 완만하여 지는 것으로 보아 장벽의 실효적인 높이가 낮아지게 되어 Schottky 효과를 나타내고 있는 것으로 생각된다. 그런데 Al전극과 Al_2O_3 사이의 장벽은 1.5~2.0(eV) 정도¹²⁾이며, 본 실험에서의 온도 의존성 전류는 schottky 효과라고 생각하여 $\log I - 1/T$ 의 특성곡선에서 직선의 기울기로 부터, Al전극과 LB초박막사이의 장벽의 높이는 1.2~1.3(eV) 정도로 추정이 가능하다. 따라서 그림7과 같은 에너지 밴드 모델을 생각할 수가 있다.

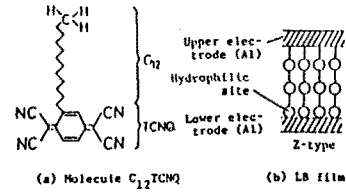


그림1. LB성막분자와 누적형태

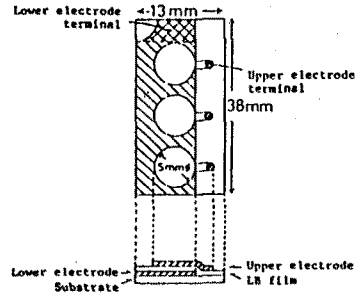


그림2. 전극 구조

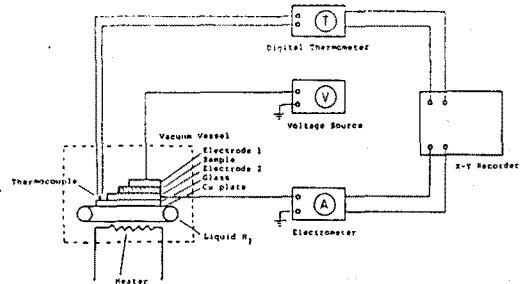


그림3. 측정 장치

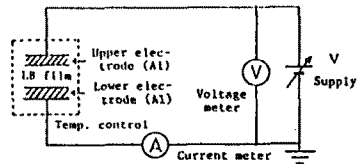


그림4. 측정 회로

여기서 정(+)Bias 때는 전자 (electron)가 Al₂O₃로 부터 주입되며, Al₂O₃의 저항은 LB초박막의 저항보다 매우 작으므로 이 때 LB막에는 전압분담이 크게 되며, Al₂O₃에는 전압이 거의 인가되지 않게 된다. 따라서 그림5의 경우에는 Bias전압을 변화시켜도 직선의 기울기는 변화가 없게 된 것이다. 한편, schottky효과에 의한 퍼텐셜 장벽의 저하는 다음과 같이 된다⁴⁾,

$$\phi_T - \phi_T = \left[\frac{e^3 E}{4\pi\epsilon} \right]^{1/2} \quad (1)$$

여기서 E는 LB막 중의 전기장, e는 전자의 전하, ε는 LB초박막의 유전율이다. LB막 5층의 경우에 계산에 의하면 LB막중의 전기장은 약 2X10⁶V/cm이므로 식(1)에 의해서 φ_T - φ_T를 구하면 약 0.2(eV)가 된다. 그림6의 측정에서 V = 0의 경우에 활성화 에너지는 약 0.9(eV)이므로 Al전극과 LB초박막 사이의 장벽의 높이는 1.1(eV) 정도로 추정 가능하기 때문에 그림7과 같은 퍼텐셜 우물(potential well)을 생각할 수 있다. 그림8에 20 °C에서의 V^{1/2} - lnI특성을 plot하였다. 그런데 schottky 전류 I는 다음과 같이 표시된다⁵⁾,

$$I = AT^2 \exp[-(\phi_D - \beta_s E^{1/2})/kT] \quad (2)$$

여기서 A = 4πmek²/h³ (Richardson 정수), β_s = (e³/4πε)^{1/2}이다. Al₂O₃에 걸리는 전기장, 전압, 저항율을 E_{ox}, V_{ox}, ρ_{ox}, LB막에 걸리는 전기장, 전압, 저항율을 E_{LB}, V_{LB}, ρ_{LB} 라고 하면

$$E_{ox} = V_{ox}/d_{ox} = I \cdot \rho_{ox}/S \quad (3)$$

$$E_{LB} = V_{LB}/d_{LB} = I \cdot \rho_{LB}/S \quad (4)$$

단, S는 전극면적(0.2cm²)이다.

여기서, ρ_{ox} = 10⁸(Ω·cm), ρ_{LB} = 10¹³~10¹⁶(Ω·cm), d_{ox} ≈ 30(Å), d_{LB} = 20~160(Å)이므로, E_{ox}, V_{ox}는 E_{LB}, V_{LB}와 비교하면 매우 작으므로 무시하여도 좋을 것이다. 따라서 E를

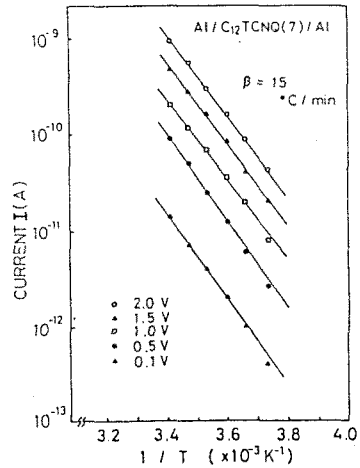


그림5. 전류-온도 특성(정전압Bias)

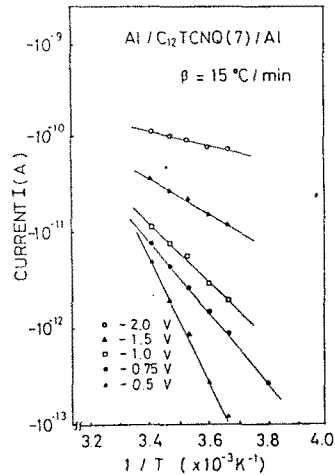


그림6. 전류-온도 특성(역전압Bias)

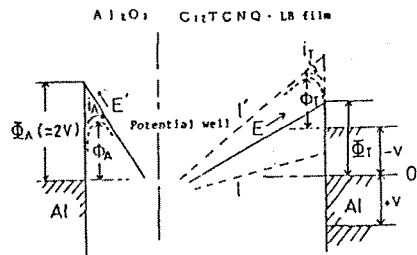


그림7. 에너지 밴드 모델도

E_{LB} , 인가전압(Bias) V 를 V_{LB} 로 생각할 수 있다.

$$E = E_{LB} = V_{LB}/d_{LB} = V/d_{LB} \quad (5)$$

즉, 식(5)를 고려하면 식(2)는 $I \propto \exp V^{1/2}$ 즉, $\ln I \propto V^{1/2}$ 이 되어 schottky 전류 I 는 다음과 같이 간단히 표시할 수 있다.

$$\ln I \sim V^{1/2} \quad (6)$$

그림8의 결과는 식(6)의 직선관계를 잘 만족시키는 것으로 실온(20°C) 부근에서의 전류는 schottky성 전도가 지배적인 것으로 생각된다.

여기서 그림8의 기울기로 부터 β_s 를 구하면

$$\begin{aligned} \beta_s &= (e^3/4\pi\epsilon)^{1/2} \\ &= (e^3/4\pi\epsilon\epsilon_{CLB})^{1/2} \quad (7) \end{aligned}$$

식(7)에 의해서 ϵ_{LB} 를 구하면 약 4.4정도가 된다. 이 값은 LB막 누적층 수 n 와 정전용량 C 의 관계로 부터 구한 LB막의 비유전율 4.2와 거의 일치한 값이다. 이것은 그림8의 schottky plot가 타당한 것을 나타내는 것으로 LB초박막의 실온부근에서 전기전도는 schottky성이 지배적인 것을 나타내는 것으로 생각되는 결과이다.

4. 결론

LB법에 의하여 제작된 초박막의 경우에는 초박막 특유의 전기저항이 검출되고 있다. 본 실험에서는 제작된 LB초박막이 실온 부근에서 schottky성의 전기전도특성이 지배적인 결과를 얻었다. 그러나, LB초박막의 경우 LB막 제작시의 본자의 배열에 의한 분극 등으로 인하여 LB막내에 전계를 형성하기 때문에 형성된 전계를 고려하는 전기전도특성에 대한 연구를 하여야 할 것으로 생각된다.

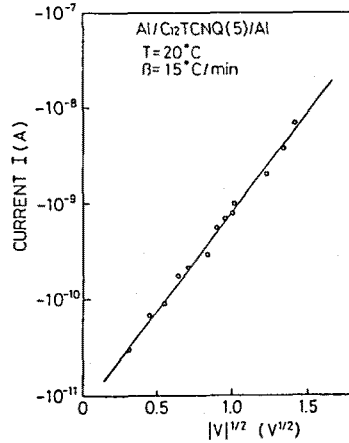


그림8. Schottky plot의 예

참고 문헌

- 1) 권 영수, 강 도열, "신기능소자개발의 행방" 대한전기학회지 37(8, 9, 11월호) (1988)
- 2) 권 영수, 강 도열, "유기재료를 이용한 신기능소자" 전기설비 7(3) P14 (1990)
- 3) K.B. Blodgett : J. Am. Chem. Soc. 57 P1007 (1935)
K.B. Blodgett, I. Lanmuir, Phys. Rev. 51 P984 (1937)
- 4) Y.S. Kwon, T. Hino, "Generation of Inner Electrical Field in Hetero Structure of LB Films" T. IEEE Japan 108-A(2) P68 (1988)
- 5) S.M. Sze, "Physics of Semiconductor Devices" P250 John Wiley & Sons (1981)