

말레에이트계 LB초박막의 이방성 전기전도 특성의 해석

論 文
49C - 1 - 3

Analysis of Anisotropic Electrical Conduction Properties of Maleate System LB Ultra-thin Films

崔龍成*·金道均**·劉承燁**·權寧守***
(Yong-Sung Choi · Do-Kyun Kim · Seung-Yeop Yoo · Young-Soo Kwon)

Abstract - We have fabricated LB ultra-thin films of maleate system by LB technique and evaluated the deposited status of LB ultra-thin films by I-V characteristics such as capacitance. It was found that the thickness of LB ultra-thin films per layer is 27~30[Å] by XRD. And, we have known that the conductivity along the horizontal direction of LB ultra-thin films was about 10^{-8} [S/cm], it corresponds to the semiconducting materials. Also, the I-V characteristics along the vertical direction of LB ultra-thin films was dominated by Schottky type current, the activation energy obtained by current-temperature characteristics was about 0.84[eV] and the conductivity was about 10^{-14} [S/cm], it corresponds to the insulator. And, the anisotropic conduction mechanism of the LB ultra-thin films in vertical direction and horizontal direction is determined by the hydrophilic group and the hydrophobic group in LB ultra-thin films. The above results are applicable to the semiconductor devices such as switching device, which function at the molecular level.

Key Words : C₁₈MA-VE₂ copolymer, LB ultra-thin films, I-V characteristics, Conduction mechanism, Schottky current

1. 서 론

현대는 실리콘으로 대변되는 반도체의 시대라고 할 수 있다. 그러나, 현재의 방법으로는 실리콘 반도체의 양자 역학적 한계로 인하여 반도체의 집적도를 향상시킬 수 없다. 따라서, 반도체의 궁극적인 한계를 극복하기 위해서 다양한 기능성 유기 분자를 이용한 분자 크기의 분자 전자 소자가 차세대 소자로서 기대되고 있다[1]. 그러나, 분자 소자에 대한 구체적인 제작 기술에 대해서는 아직 보고되고 있지 않다. 즉, 현재의 기술 수준으로서는 분자 1개 또는 분자 몇 개를 이용하는 것은 불가능하지만, 분자를 집합체로 하여 분자의 기능을 활용하는 유기 초박막에 대한 제작 기술은 최근 많이 연구되고 있다[1].

유기 초박막은 종래의 재료에서는 볼 수 없었던 새로운 기능이 발견되므로써 유기물이 갖는 다양한 분자의 기능을 활용할 수 있다. 또한, 유기 초박막은 분자 크기이므로 차세대의 소자로서 각광을 받고 있는 바이오 칩, 바이오 컴퓨터, 바이오 센서 등의 분자 소자로서 응용이 가능하다는 점 등으로 인하여 많은 연구자들의 관심의 대상이 되고 있다[2].

유기 초박막의 제작 방법으로는 여러가지가 있으나, 이 중에서 Langmuir-Blodgett(LB)법이 최근에 각광을 받고 있다. 이것은 LB법에 의하여 제작한 LB 초박막이 분자 두께[Å]와 고질서 구

조의 배향·배열막이 가능하여 초격자(super-lattice) 등으로 유기 분자의 기능성을 활용할 수 있을 것으로 생각되기 때문이다. 특히, LB 초박막은 분자 소자 등의 나노테크놀로지로서의 응용 가능성이 확인되고 있으며, LB 초박막의 연구 분야로는 절연체, 도체, 반도체, 초전도체, 레지스트, 표시 소자, 메모리 소자, 비선형 광학 소자, 센서 등을 들 수 있다[3~10].

따라서, 본 연구에서는 LB 초박막의 전기적 특성을 이용한 분자 전자 소자로 응용하기 위하여 다중 이온 착체 형성을 위한 카르복실기 외에 친수성의 에틸렌글리콜 부분을 측쇄로 갖고 있으며, 경우에 따라서 플로오루알킬 사슬도 도입할 수 있는 기능을 가진 말레에이트계 고분자를 합성하고, 유기 분자의 초박막 구축법인 LB법을 이용하여 LB 초박막을 제작하였다. 그리고, 이들의 전기적 성질을 조사하기 위하여 LB 초박막의 X선 회절 및 정전용량 등을 측정·분석하여 LB 초박막의 누적 상태 및 두께를 확인하였다. 또한, LB 초박막의 수평 및 수직 방향에 대한 전기적 특성을 조사·분석하여 이방성 전기 전도 기구를 해석하였고, 분자 소자로서의 응용 가능성을 확인하였다.

2. 시료 및 실험 방법

본 연구에 사용된 시료는 말레에이트계인 monostearyl maleate (C₁₈MA)-Diethyleneglycol methyl vinyl ether(VE₂)로서 이미 보고된 방법[11]에 의해 합성하였다. LB초박막을 누적하기 위해서 C₁₈MA-VE₂를 용매인 클로로포름 20[ml]에 녹여서 1[mmol/l]의 농도가 되도록 정제하여 사용하였다.

정전용량 측정, UV/visible 흡광도, X선 회절법 및 편광 해석법(ellipsometry) 등의 방법을 이용하면 기관에 LB 초박막의 누

* 正 會 員 : 東亞大 電氣工學科 研究員 · 工博

** 正 會 員 : 東亞大 大學院 電氣工學科 博士課程

*** 正 會 員 : 東亞大 電氣電子컴퓨터工學部 教授 · 工博

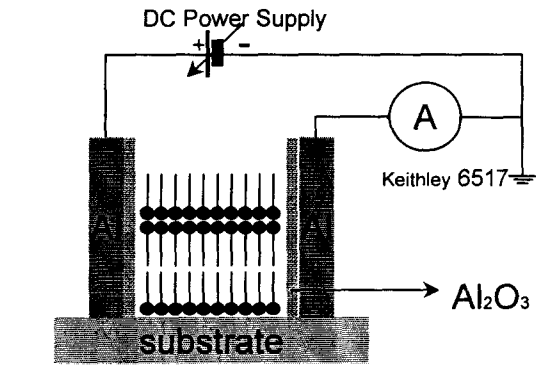
接受日字 : 1999年 8月 18日

最終完了 : 1999年 12月 12日

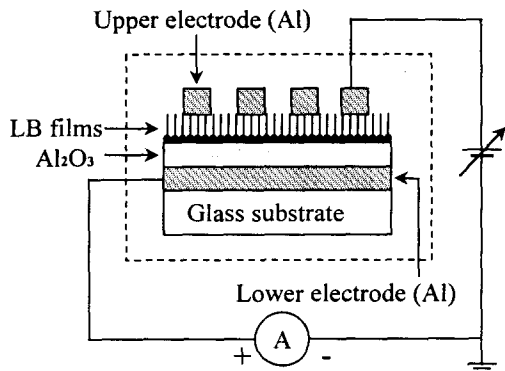
적 상태가 양호한지를 간접적·정량적으로 확인할 수 있다. UV/visible 흡광도와 편광해석법에 의한 LB초박막의 누적 확인은 이미 보고하였다[12].

LB 초박막의 정전용량을 측정하기 위하여 NLE사의 진공 증착기(NL-LB50ELS)를 사용하여 6×10^{-6} [Torr]의 진공도에서 Al 전극을 기판 위에 증착하였다. 이 때 Al 전극의 두께는 약 1,000[Å]이었다. 그리고, Al 전극의 수평 방향으로 LB 초박막을 누적한 후 임피던스 분석기(HP 4192A LF)를 사용하여 실온에서 주파수를 1[kHz]로 고정하고 LB 초박막의 정전용량을 측정하였다. 한편, LB 초박막의 두께는 Rigaku사의 2[kW] 출력 튜브형 X-선 회절기(D/max-IIA ditto)을 사용하여 X선 회절기에 의하여 측정하였다.

LB초박막의 전기적 특성을 측정하기 위하여 그림 1과 같은 측정 회로를 사용하였다. 그림 1(a)는 LB 초박막의 수평 방향에 대한 전압-전류 특성을 측정하기 위한 측정 회로이며, 이 때의 Al 전극 사이의 거리는 0.18[cm]로 하였다. 그리고, 그림 1(b)는 LB 초박막의 수직 방향에 대한 전압-전류 특성을 측정하기 위한 측정회로이며, 이 때 Al 전극의 면적은 0.2[cm²]이었다.



(a) 수평 방향
(a) Horizontal direction



(b) 수직방향
(b) Vertical direction

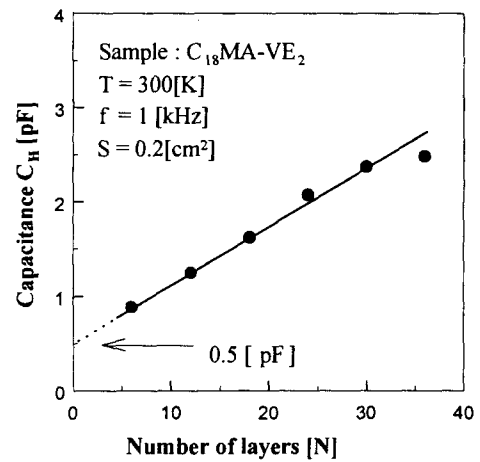
그림 1 전압-전류 특성의 측정 회로
Fig. 1 Measuring circuit if I-V characteristics

전류계는 내부임피던스가 10^{15} [Ω]인 Keithley 6517 전압-전류 계를 사용하였으며, LB 초박막의 전기적 특성 측정은 LB 초박막을 유리 용기내에 설치하여 외부 잡음을 차폐시킨 후 수평·수직방향에 대해서 각각 1 및 0.1[V]씩 전압을 증가시키면서 약 1분 후 안정된 지시값을 나타낼 때 측정 전류로 취급하였다. 이 때 측정된 최대값과 최소값의 평균을 구하여 측정값으로 하였다.

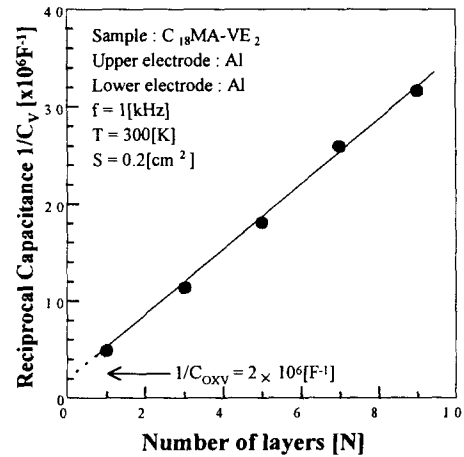
3. 결과 및 검토

3.1 LB 초박막의 누적 확인

그림 2(a)는 수평 방향 LB 초박막의 누적 층수 N_H 에 대한 정전용량 C_H 를 1[kHz]의 주파수에서 측정하여 나타낸 것으로서, 시편의 정전용량은 30층까지 직선적인 관계가 있다.



(a) 수평 방향
(a) Horizontal direction



(b) 수직 방향
(b) Vertical direction

그림 2 LB 초박막 정전용량의 층수 의존성
Fig. 2 Capacitance of the samples depending on LB ultra-thin film layers

이 결과에서 30층까지는 LB 초박막이 양호하게 누적되어 있음을 간접적으로 알 수 있다. 한편, 그림 2 (a)에서 35층 LB 초박막의 정전용량이 포화되는 현상을 나타내고 있다. 정전용량이 포화하는 원인으로서는 Al 전극의 두께(1,000[Å]) 이상으로 LB 초박막이 누적되었기(1,050[Å], 30[Å]/층) 때문으로 생각된다. 이 결과에서 현재의 전극 구조로 누적한 LB 초박막은 30층 정도까지가 적정 누적층수임을 알 수 있었다. 또한, 그림 2(a)의 y절편 ($\approx 0.5 \times 10^{-12}$ [F])은 LB초박막이 누적되지 않았을 때 시편의 정전용량 C_{FH} 를 나타내고 있다. 이것은 유리 기판 위에 Al 전극을 증착한 후 LB초박막이 누적되지 않은 상태($N_H = 0$)에서 측정된 정전용량($C_{FH} \approx 0.55 \times 10^{-12}$ [F])과 비슷하였다.

그림 2(b)에 수직 방향 LB 초박막의 누적 층수 N_V 에 대한 정전용량의 역수 $1/C_V$ 를 1[Hz]의 주파수에서 측정하여 나타내었다. 그림 2(b)에서 시편의 정전용량의 역수는 9층까지 직선적인 관계를 나타내고 있다. 이 결과에서 9층까지는 LB 초박막이 양호하게 누적되어 있음을 알 수 있었다. 한편, 그림 2(b)의 y절편 ($1/C_{oxv} = 2 \times 10^6$ [F⁻¹])에서 Al 전극에 형성된 자연산화막(Al_2O_3)의 두께 d_{oxv} 를 식 (1)에 의해서 구할 수 있다[13].

$$\frac{1}{C_{oxv}} = \frac{d_{oxv}}{\epsilon_0 \cdot \epsilon_{oxv} \cdot S_{0v}} \quad (1)$$

여기서, C_{oxv} 는 자연 산화막의 정전용량[F], d_{oxv} 는 자연 산화막의 두께[cm], ϵ_{oxv} 는 자연 산화막의 비유전율 및 S_{0v} 는 전극의 면적[cm²]이다. 식 (1)에서 Al_2O_3 의 비유전율 ϵ_{oxv} 가 8, 전극의 면적 S_{0v} 가 0.2[cm²]이므로, 자연 산화막의 두께 d_{oxv} 는 약 25~30[Å]가 된다. 또한, LB 초박막의 두께와 전극 면적 S_{0v} 를 식 (1)에 대입하면 LB 초박막의 비유전율을 5.0~6.0를 얻을 수 있었다.

그림 3은 실리콘기판에 누적한 13층 LB 초박막에 대한 X선 회절을 나타낸 것으로서, Bragg 조건[14]을 만족시키는 격자간격에 의하여 계산한 LB 초박막의 두께는 27~30[Å] 정도이었다. 이것은 편광 해석법에 의하여 이미 보고된 값과 일치하는 결과이었다.

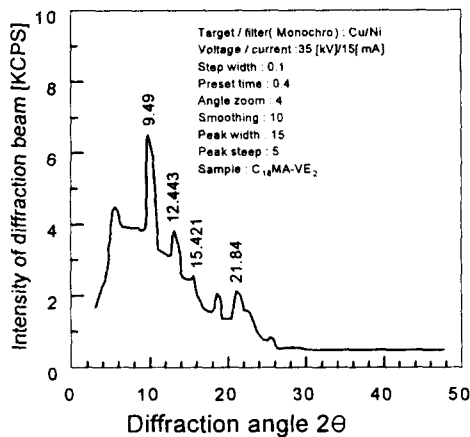
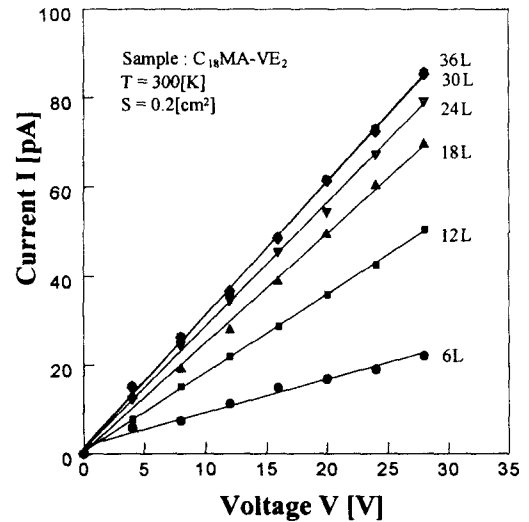


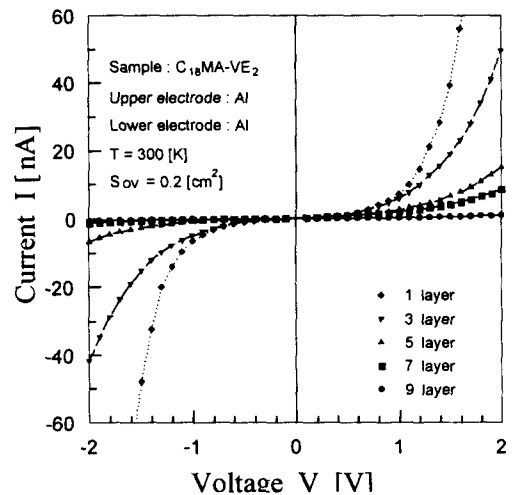
그림 3 X-선 회절법에 의한 LB 초박막의 두께 측정
Fig. 3 Thickness measurement of LB ultra-thin films by XRD

3.2 LB 초박막의 전기적 특성

그림 4(a)는 실온에서 측정된 수평 방향 LB 초박막의 전압-전류 특성을 나타낸 것으로서, 그림 1(a)의 측정 회로를 사용하여 1[V]씩 전압을 증가시키면서 전류가 안정되었을 때 측정값으로 하였다.



(a) 수평 방향
(a) Horizontal direction



(b) 수직 방향
(b) Vertical direction

그림 4 LB초박막 전압-전류 특성
Fig. 4 I-V characteristics of LB ultra-thin films

그림 4(a)에서 알 수 있듯이 인가 전압이 증가될수록 전류가 증가됨을 알 수 있다. 이것은 LB 초박막의 누적 층수가 증가될수록 누적된 LB 초박막의 전극 면적이 커져서 전류가 증가되는

것으로, LB 초박막의 누적이 양호함을 간접적으로 알 수 있었다. 한편, 인가 전압이 30[V]일 때 전극 간격이 0.18[cm]이므로, LB 초박막에 걸리는 전계 강도는 약 167[V/cm]로서 LB 초박막에는 옴(ohm) 영역에서의 전류가 흐름을 알 수 있었다. 그림 4(a)의 전압-전류 특성의 기울기로부터 LB 초박막의 전기 전도도 σ_H 를 구하면 약 $4 \sim 6 \times 10^{-7}$ [S/cm]의 영역에서 안정하게 분포된다. 이 전기전도도는 반도체성 물질에 상당하는 크기로서[15], 수평 방향 LB 초박막을 반도체 소자로서의 응용 가능성이 높음을 보여주고 있다.

또한, 그림 4(b)는 수직 방향 LB 초박막의 전압-전류 특성으로서, 그림 1(b)의 측정 회로를 사용하여 전압 인가 1분 후의 전류를 측정값으로 하였다. 그림 4(b)에서 동일 인가 전압에 대하여 누적 층수가 증가될수록 전류가 감소됨을 알 수 있다. 이것은 절연성 LB 초박막이 누적되어 누적층수가 증가될수록 저항이 증가됨을 의미하는 것으로서, LB 초박막의 누적이 양호함을 나타내고 있다.

그리고, 그림 4(b)에서 1[V] 정도까지 옴 영역의 기울기로부터 계산한 수직 방향 LB 초박막의 전기 전도도는 약 $10^{-15} \sim 10^{-14}$ [S/cm]로서, LB 초박막이 절연성 물질임을 알 수 있었다. 이것은 수평방향 LB 초박막의 전기 전도도 10^{-8} [S/cm]와는 10^7 정도의 이방성 전기 전도도 특성을 나타내는 것으로서, 스위칭 소자로서의 응용이 기대된다. 한편, 그림 4(b)에서 인가 전압이 1[V]일 때, 1층 LB 초박막에 걸리는 전계 강도는 LB 초박막 1층당의 두께가 30[Å] 정도이므로 약 3.3×10^6 [V/cm]이었다.

LB 초박막의 수평 및 수직 방향에 대한 이방성 전기 전도 기구를 조사하기 위하여 친수기인 카르복실기(-COOH)와 소수기인 메틸렌기(CH₂)로 이루어진 지방산계[CH₃(CH₂)_{n-2}COOH] 물질인 myristic acid(n=14), palmitic acid(n=16), stearic acid(n=18) 및 arachidic acid(n=20) LB 초박막의 전기적 특성을 조사하였다. 지방산계 물질은 메틸렌기의 수에 따라 사슬(chain)의 길이를 제어할 수 있다는 장점이 있어 LB초박막 재료의 기초적인 전기적 성질을 조사하는데 널리 사용되어 왔다[15].

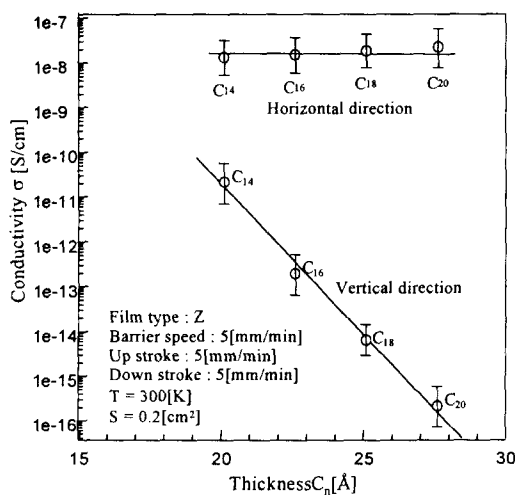
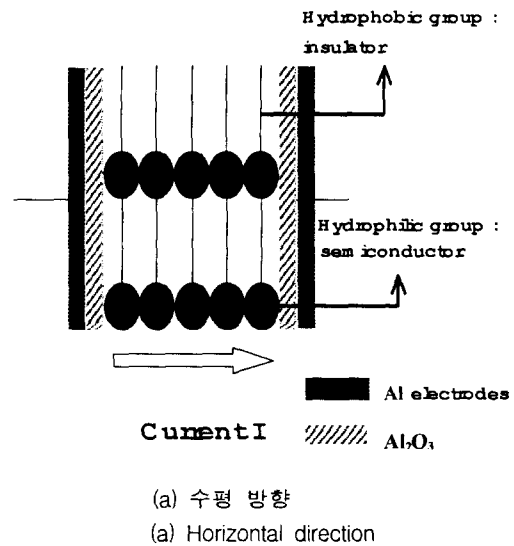


그림 5 지방산계 LB 초박막의 수직 및 수평 방향에 대한 전기 전도도 특성

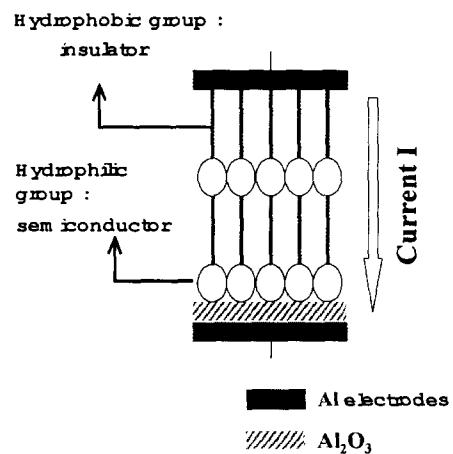
Fig. 5 Conductivity characteristics of fatty acid LB ultra-thin films for vertical and horizontal direction

그림 5는 그 결과로서 지방산계 LB 초박막의 수평 방향에 대한 전기 전도도는 약 $10^{-9} \sim 10^{-8}$ [S/cm]의 비교적 좁은 영역에 분포하고 있으며, 반도체성 물질에 상당하는 크기이었다. 한편, 그림 5에서 지방산계 LB 초박막의 수직 방향에 대한 전기 전도도는 지방산계 물질의 메틸렌기 사슬 길이가 증가함에 따라 $10^{-10} \sim 10^{-16}$ [S/cm]의 비교적 넓은 영역에 분포하고 있으며, 절연성 물질에 상당하는 크기이었다

그림 6(a)는 그림 5의 결과로부터 얻은 LB 초박막의 수평 방향으로 흐르는 전류의 전도 기구를 나타낸 것이다. 지방산계 LB 초박막의 수평 방향에 대한 전기 전도도가 반도체성을 나타내는 것은 그림 6(a)와 같이 지방산 LB 초박막의 친수기 부분인 카르복실기가 도너(donor)로서 역할[15]하기 때문으로 생각된다. 따라서, 말레이이트계인 C₁₈MA-VE₂ LB 초박막의 수평방향에서도 카르복실기를 통하여 전류가 흐르므로 반도체성이 지배적인 것으로 생각되었다.



(a) 수평 방향
(a) Horizontal direction



(b) 수직 방향
(b) Vertical direction

그림 6 LB 초박막 전기 전도 기구

Fig. 6 Current conduction mechanism of LB ultra-thin films

그림 6(b)는 그림 5의 결과로부터 얻은 LB 초박막의 수직 방향으로 흐르는 전류의 전기 전도 기구를 나타낸 것이다. 지방산 LB 초박막의 수직 방향에 대하여 절연체성 전기 전도도를 나타내는 것은 절연성을 갖고 있는 LB 초박막의 소수기 부분인 긴 메틸렌기가 전도를 방해하기 때문에 양호한 절연성이 나타나는 것으로 알려져 있다[17]. 따라서, 말레이이트계인 C₁₈MA-VE₂ LB 초박막의 수직 방향에서도 메틸렌기를 통하여 전류가 흐르므로 절연체성이 지배적인 것으로 생각되었다. 또한, Al 전극의 자연 산화막 두께는 25~30[Å]이므로 전류의 터널링이 발생할 수 있는 두께[16]이므로, 수직 방향 LB 초박막의 절연체성에는 영향이 없는 것으로 생각할 수 있다.

그림 7은 그림 4(b)에서 1층 LB 초박막의 전압-전류 특성을 Schottky plot한 것이다. Schottky 전류 I는 식 (2)와 같다[18].

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

여기서, A는 $4\pi me k^2/h^3$ (Richardson 상수), ψ_D 는 장벽의 높이 ($(kT \cdot \ln AT^2 / (I_0 \cdot S_{ov})) / e$), β_s 는 $(e^3 / 4\pi \epsilon)^{1/2}$ 이다. 그림 7에서 lnI는 인가 전압 V^{1/2}과 직선 관계를 갖고 있다. 이때, 그림 7에 나타낸 직선의 기울기로부터 LB 초박막의 비유전율 ϵ_{LB} 를 계산하면 약 5.0~6.0이 된다. 이 값은 그림 2(b)에서 구한 LB 초박막의 유전율 5.0~6.0과 일치하는 값이다. 따라서, 그림 4(b)에서 측정된 전류는 Schottky성 전기 전도가 지배적인 것으로 생각된다. 한편, 그림 7의 y절편값(I₀)으로부터 계산된 Schottky 장벽의 크기 ψ_D 는 약 0.9[eV]가 되며, 이 값은 절연체성에 상당하는 크기이었다.

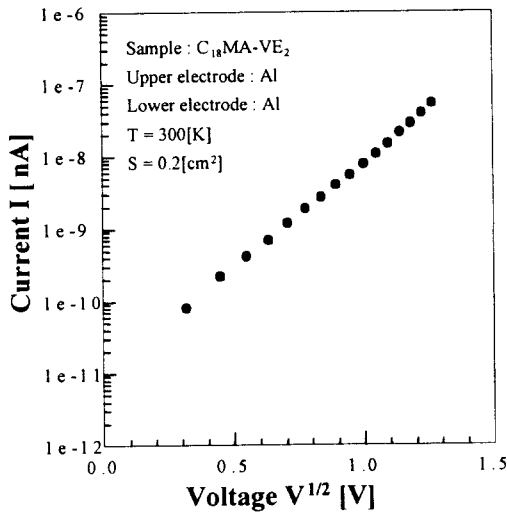


그림 7 Schottky 전류 특성
Fig. 7 Characteristics of Schottky current

그림 8은 LB 초박막의 수직 방향에 대한 전류-온도 특성으로서, 그림 4(b)의 전압-전류 특성 중 7층 LB 초박막을 30~75[°C]의 온도 영역에서 전압별로 나타낸 것이다. 전류-온도 특성에서 직선의 기울기로부터 LB 초박막의 활성화에너지[13]를 구하면, 약 0.84[eV]이므로, 그림 7에서 구한 Schottky 장벽의 크기와 같이 절연체성에 해당하는 값을 얻었다.

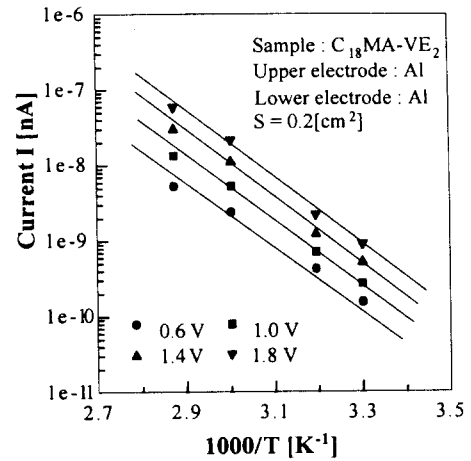


그림 8 Schottky 전류의 온도 의존성
Fig. 8 Temperature dependence of Schottky current

4. 결론

본 연구에서는 수평·수직 방향 LB 초박막의 전기적 특성을 연구하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) LB 초박막의 정전용량, UV/visible 흡광도 및 전압-전류 특성에 의하여 LB 초박막의 누적 상태를 평가하였으며, X선 회절에 의하여 1층 LB 초박막의 두께가 약 27~30[Å]임을 알았다.
 - 2) 수평 방향 LB 초박막의 경우 전기 전도도는 약 10⁻⁸[S/cm]로서 반도체성 물질에 해당하였다.
 - 3) 수직 방향 LB 초박막의 전압-전류 특성은 Schottky 성이 지배적이었고, 전류-온도 특성에서 얻은 활성화에너지는 약 0.74[eV]이었으며, 전기 전도도는 약 10⁻¹⁴[S/cm]로서 절연성이었다.
 - 4) LB 초박막의 수직 및 수평 방향에 대한 이방성 전기 전도 기구는 LB 초박막의 친수기 부분인 카르복실기와 소수기 부분인 메틸렌기에 의하여 결정되는 것으로 생각되었다.
- 이상의 연구 결과는 분자 레벨에서 동작하는 스위칭 소자 등의 반도체 소자로서 응용이 기대되며, 초박막 분자 소자의 개발을 위한 기초 자료로서 활용이 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] F.L. Carter (ed.), Molecular Electronic Devices, Marcel Dekker Inc., New York, 1982.
- [2] 岩本光正, 工藤一浩, 八瀬清志, 有機超薄膜エレクトロニクス, 培風館, p.217, 1993.
- [3] G.G. Roberts, M.C. Petty, S. Baker, M.T. Fowler, and N.J. Thomas, Thin Solid Films, Vol. 132, p.113, 1985.
- [4] 日野太郎 他, 有機機能性絶縁性材料の現況と發展方向, 日本電氣學會技術報告(II部) 第268号, 電子絶縁材料調査専門委員會編, pp.34~115.
- [5] 森泉豊榮 他, 有機超薄膜作製·平價技術の最近の動向, 日本電氣學會技術報告(II部) 第420号, 有機超薄膜作製

- 技術 調査專門委員會編, pp.14~19, 1992.
- [6] 金子双男 他, 有機絶縁薄膜の機能化-その現状と分析, 日本電氣學會技術報告(II部) 第406号, 機能性有機絶縁薄膜調査專門委員會編, pp.3~65, 1992.
- [7] M.A. Rutkis, L.E. Gerca, E.A. Silinsh, O.Y. Neilands, M.P. Roze, E.L. Berzinsh, A.B. Klimkans and S. Larsson, Adv. Mater., Vol. 2, p.319, 1993.
- [8] M. Morisawa, H. Uematsu and S. Muto, JJAP, Vol. 31, L1202, 1992.
- [9] 北田正弘 他, センサと材料, 裳華房, p.97, 1987.
- [10] J. Janata, Principles of Chemical Sensors, Plenum Press, p.219, 1989.
- [11] H. Jeong, B.J. Lee and Y.S. Kwon, "An imide cross-linking and concurrent skeletonization of Langmuir-Blodgett films composed of two oppositely charged polymers", Thin Solid Films, Vol. 244, pp.710~713, 1994.
- [12] 최 용성, 김 정명, 김 도균, 권 영수, "말레이이트계 유기 초박막의 가스 반응 특성 분석", 대한전기학회 논문지, Vol.48C, No.6, p.442, 1999.
- [13] 권 영수 외 5인 "기능성 초박막을 이용한 Electret 소자의 제작과 전기물성에 관한 연구", 대한전기학회 논문지, Vol.40, No.5, p.489, 1991.
- [14] 泉美治 他, 機器分析のてびき 第3集, 化学同人, p.69 1988.
- [15] 田清成, 杉道夫, 雀部博之, LB膜とエレクトロニクス, CMC, p.117, 1986.
- [16] 日野太郎, 串田正人, "Al自然酸化膜による Al/Al₂O₃/Au のトンネル伝導電流", 日本電氣學會論文誌, Vol.109-A, No.8, p.365, 1989.
- [17] 강도열 외 4인, "LB초박막의 누적기술과 이방성 전기전도", 대한전기학회 논문지, Vol.40, No.1, p.82, 1991.
- [18] S.M. Sze, Physics of Semiconductor Devices, John Wiley & Sons, p.280, 1981.

저 자 소 개



최 용 성(崔 龍 成)

1967년 11월 14일생. 1991년 동아대 전기공학과 졸업. 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1998년~1999년 동아대 전기공학과 인턴연구원. 현재 일본 JAIST Post-Doc

Tel : 051-200-6742 Fax : 051-200-7743

E-mail : taewon@mail.taegu.net



유 승 엽(劉 承 燁)

1970년 1월 28일 생. 1995년 동아대 전기공학과 졸업. 1997년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 전기공학과 박사과정

Tel : 051-200-6742, Fax : 051-200-7743

E-mail : yoo0070@netian.com



김 도 균(金 道 均)

1971년 3월 25일생. 1996년 동아대 전기공학과 졸업. 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 전기공학과 박사과정

Tel : 051-200-6742, Fax : 051-200-7743

E-mail : kdk-mail@hanmail.net



권 영 수(權 寧 守)

1950년 1월 17일생. 1973년 영남대 전기공학과 졸업. 1983년~1988년 일본 동경공업대 대학원 전기·전자공학과 졸업(공학박사). 1990년, 1992년, 1994년 동경공업대 객원연구원. 현재 동아대학교 공대 전기공학 과 교수

Tel : 051-200-7738, Fax : 051-200-7743

E-mail : yskwon@mail.donga.ac.kr