

Eicosanoic Acid LB 박막을 이용한 분자 전자 소자의 전기적 특성 연구

이호식* · 천민우* · 박용필*

*동신대학교

Electrical Properties of Molecular Electronic Device Using Eicosanoic Acid LB Thin Film

Hol-Shik Lee* · Min-Woo Cheon* · Yong-Pil Park*

*Dongshin University

E-mail : hslee@dsu.ac.kr

요 약

최근에 분자 전자 소자로 사용되기에 적합한 많은 분자들이 많은 주목을 받고 있다. 또한 이러한 소자에 사용되는 초박막 물질들은 의용공학용 전자 소자에도 많이 사용되기도 한다. 분자 수준 스위치의 개발에 기초로 한 현재의 많은 시도들은 논리회로와 메모리 소자 등에 응용 될 수 있다. 본 연구에서는 eicosanoic acid 지질막을 이용하여 초박막 소자를 제작하고, 이의 전기적 특성을 측정하였다. 또한 측정된 결과를 통하여 본 연구에서의 분자 소자가 의용 소자로서의 응용 가능성을 확인하고자 하였다.

ABSTRACT

We used an eicosanoic acid material and the material was very famous as an thin film bio and insulating material. Eicosanoic acid monolayer was deposited by Langmuir-Blodgett(LB) technique and a subphase was a CdCl₂ solution as a 2×10^{-4} mol/l. Also, we used a bottom electrode as an Al/Al₂O₃ and a top electrode as a Al. When the positive and negative bias applied to the molecular device, the behavior shows that a tunnel switching characteristics. This results were analyzed regarding various mechanisms.

키워드

Eicosanoic Acid, Langmuir-Blodgett(LB), tunnel switching, Molecular electronic device.

1. 서 론

최근에 분자 전자 소자로 사용되기에 적합한 많은 분자들이 많은 주목을 받고 있다. 또한 이러한 소자에 사용되는 초박막 물질들은 의용공학용 전자 소자에도 많이 사용되기도 한다. 분자 수준 스위치의 개발에 기초로 한 현재의 많은 시도들은 논리회로와 메모리 소자 등에 응용 될 수 있다[1, 2]. 전자 정보 저장의 이론적인 개념은 캐패시터에 전하를 보유하는 것과 같기 때문에 분자 메모리로서 가장 적합한 시도는 분자 수준에서 전하를 저장하는 것이다. 분자 다이오드는 D(donor)-A(acceptor) 구조를 갖는 비대칭 유기

분자에 기초를 두고 있다. 단분자는 두 개의 금속 전극 M1, M2 사이에 위치하고 있으며, 양(+) 전극에 positive bias가 인가되고, 전자는 음(-)전극(M2)에서 양전극을 따라서 M2→A→D→M1의 경로로 이동된다. 역방향으로 bias가 인가되면, 전자는 전자주개에서 전자받개의 방향으로 전이가 일어난다. 이와 같은 이론을 바탕으로, 유기 박막 연구는 최근에 분자 광전자 소자, 의료용 기기 등의 여러 기기들에서 사용되고, 이러한 메모리 재료들의 잠재적 응용이 많은 관심을 끌고 있다.

이의 한 가지 방법이 유기 분자 소자의 개발이며, 따라서 유기 분자를 이용한 분자 소자 제작

방법의 하나로서 분자 제어와 두께 제어가 간단하고 또한 분자 배향 등의 조절이 용이한 Langmuir-Blodgett(LB) 법이 있다.

본 연구에서는 분자 단위의 정보 저장 시스템으로서 산화 환원이 활성화되는 유기 단분자층의 가능성을 조사하였다. 분자 소자 메모리 재료로는 eicosanoic acid 분자를 사용하였다. 이 분자는 양이온과 음이온이 전기 화학적으로 형성될 수 있으며, 화학적인 안전성이 매우 큰 양이온을 선택하여 실험을 하였다. 따라서 본 논문에서는 eicosanoic acid 박막은 LB법을 사용하였으며, 전류-전압(I-V) 특성을 측정하여 결과를 얻었다.

II. 실험

2. 1. 성막 분자

본 실험에 사용한 성막 분자는 eicosanoic acid이며, LB 박막을 제작하기 위하여 클로르포름(CHCl₃)에 녹여서 10⁻³ mol/l의 농도로 만들었다.

그림 1에는 본 연구에서 사용한 분자의 구조를 나타내었다.

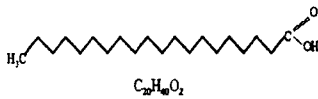


그림 1. Eicosanoic Acid 분자구조.

2. 2. 실험 장치

Eicosanoic acid LB 박막을 제작하기 위한 누적 장비로는 Kuhn type의 NIMA 611을 사용하여 Z-type 1층의 막을 제작하였다. 이 때 사용한 유리 기판(slide glass)(26×75×1 mm)은 약 180℃의 고온 상태에서 건조하고, 이에 하부 전극으로 Al을 진공 증착 하였다. 또한 기판에 대하여 수직 방향으로의 LB막의 전압-전류 특성은 Keithley 238 electrometer를 사용하여 측정하였다. 인가전압은 -3V에서 +3V까지 인가하였으며, 전압 간격은 50mV로, 50ms의 지연 시간을 두고 측정하였다.

상부 전극은 10⁻⁶ torr의 진공도에서 열 증착을 하였다.

2. 3. 터널 다이오드

MIM(metal-insulator-metal) 터널 다이오드는 박막 소자에 있어서, 전자가 첫 번째 금속 전극에서 절연체 박막으로 통과하는 것을 말하며, 이러한 현상은 두 번째 금속에 의해서 제어가 된다.



그림 2. 소자 구조.

그림 2는 본 연구에 사용한 소자 구조를 나타낸 것이다.

MIM 소자에서의 전류는 절연체를 통하여 다음과 같은 식에 의해 흐른다.

$$J = \frac{4\pi q m^*}{h^3} \iint T[F(E) - F(E + qV)] dE \perp dE \tag{1}$$

여기서 J는 전류밀도, q는 전하량, m*는 전자의 유효질량, h는 plank 상수, T는 터널링 확률, F는 Fermi 분포 함수, V는 인가전압이다.

만약에 온도가 0 K° 이라면, 위 식은 다음과 같이 간단히 할 수 있다.

$$J = J_0 [\bar{\psi} \exp(-A\sqrt{\bar{\psi}}) - (\bar{\psi} + V) \exp(-A\sqrt{\bar{\psi} + V})] \tag{2}$$

위 식을 해석하면, 즉 전극 1에서 전극 2로의 전류밀도 값과 전극 2에서 전극 1로의 전류밀도 값은 각각 다음과 같이 표현이 가능하다.

$$J_0 \equiv q^2 / [2\pi h (\Delta d)^2] \tag{3}$$

$$A \equiv 4\pi (\Delta d) \sqrt{2mq/h}$$

또한 ϕ 는 Fermi 준위 위의 평균 장벽의 높이이며, d는 절연체의 두께이다. 이 식을 이용하여 절연체의 두께(d)를 계산하면, 10Å ≤ d ≤ 50Å 정도의 값이 터널 다이오드로서 가장 적절한 절연체의 두께로 계산되었다[3].

III. 결과 및 고찰

3. 1. 표면압-면적 등온선

그림 3은 지질 막의 전형적인 표면압-면적(π-A) 등온선 특성이다. 분자당 극한 면적은 약 24Å² 이었다. 본 연구에서는 25mN/m의 표면압을 적정 막누적 표면압으로 설정하였으며, 전이비는 약 100%의 값이 유지 되었다.

3. 2. 전압-전류 특성

그림 4는 Al/Al₂O₃/eicosanoic acid LB/Al 전극 구조에서 산화 막의 두께가 10Å일 때 상온에서의 I-V 특성이다. 인가전압은 -3V에서 3V까지였으며, 측정 방법은 연속적이었다. 또한 그림 5는 산화 막의 두께가 30Å일 때의 전압-전류 특성을 나타내었고, 그림 6은 산화 막의 두께가 50Å일 때의 특성을 나타내었다.

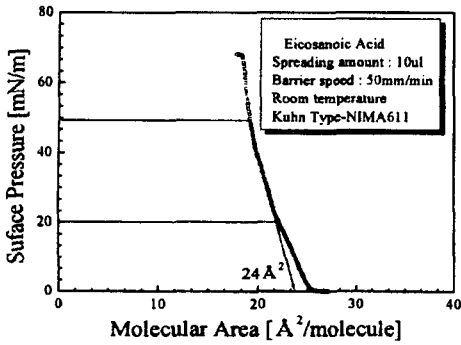


그림 3. Eicosanoic Acid의 π -A 등온선.

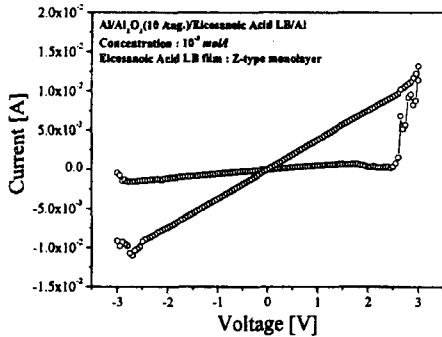


그림 4. Eicosanoic Acid LB 박막의 전압-전류 곡선(산화막 두께 : 10Å).

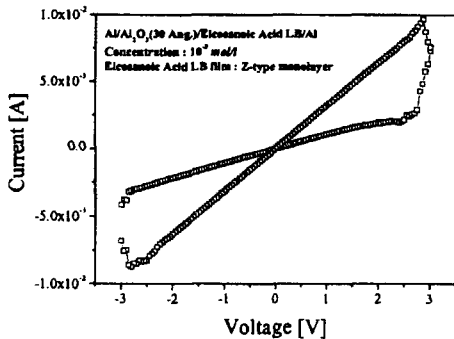


그림 5. Eicosanoic Acid LB 박막의 전압-전류 곡선(산화막 두께 : 30Å).

그림 4의 결과에서 보면, 순방향 전압 인가시 거의 전류가 흐르지 않고 있다가 약 +2.5V 이후부터 전류의 흐름이 급격히 증가하는 것을 볼 수 있다. 그리고 역 방향의 전압을 인가시 전류의 흐름이 급격히 역방향으로 감소하고, 약 -2.7V 부근에서 다시 회복되는 특성을 보이고 있다.

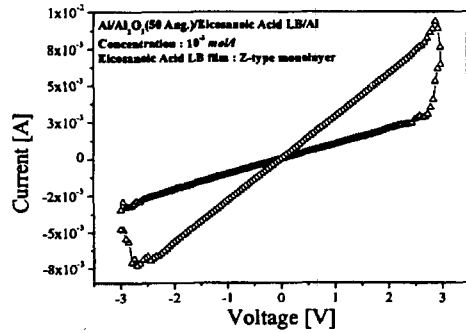


그림 6. Eicosanoic Acid LB 박막의 전압-전류 곡선(산화막 두께 : 50Å).

그림 5의 경우는 산화 막의 두께를 30Å로 하였을 때를 나타낸 것으로서, 전류의 크기가 작으며, 터널링이 일어나는 전압이 약 2.7V 정도로 조금 늦어지는 것을 확인 할 수 있다. 산화막이 10Å일 때 보다 좀 더 일찍 환원되는 것을 확인 할 수 있었다.

또한 산화 막의 두께를 50Å로 하였을 때에는 터널링이 일어나는 전압이 2.8V 정도로 조금 더 늦어지는 현상을 확인할 수 있다.

산화 막의 두께를 50Å 보다 더 두껍게 하였을 때에는 터널링 현상을 확인 할 수가 없었다. 그 이유는 아마도 산화막이 터널 장벽으로 작용하지 못하고, 단지 절연층으로 작용을 하는 것으로 생각되어진다. 이는 위에서, S. M. Sze의 계산 결과와 거의 비슷한 결과를 보이고 있다[4].

IV. 결 론

전압-전류 특성을 통하여 지밀 막을 이용한 분자 스위치 특성과 메모리 특성을 확인 할 수 있었으며, 산화 막의 두께가 소자의 스위치 특성에 상당한 영향을 주는 것을 확인 할 수 있었다. 또한 적절한 산화 막의 두께는 $10\text{Å} \leq d \leq 50\text{Å}$ 이 적당한 것으로 판단된다. 또한 이를 통하여 의용 소자로서의 응용 가능성이 존재하고 있음을 확인할 수 있었다.

참고문헌

- [1] G. Roberts, "Langmuir-Blodgett Films", Plenum, New York, 1990.
- [2] A. Ulman, "An introduction to Ultra Thin Films", Academic Press, Boston, pp. 101-102, 1991.
- [3] S. M. Sze, "Physics of Semiconductor Device, 2nd ed., Wiley-Interscience, p. 553, 1981.