

## 실리콘 웨이퍼 위에 제작된 DLPC 지질막의 전기적특성

11-12-9

### Electrical Properties of DLPC Lipid Membrane Fabricated on the Silicon Wafer

이우선\*, 김충원\*\*, 이강현\*\*\* 정용호\*\*\*\*, 김남오, 김상용\*\*\*\*\*,

(Woo-Sun Lee, Choong-Won Kim, Gang-Hyun Lee, Yong-Ho Chung, Nam-Oh Kim)

#### Abstract

MLS capacitor with lipid ultra thin films were deposited by Langmuir-Blodgett (LB) method on the silicon wafer. The current versus voltage and capacitance versus voltage relationships are depend on the applied voltage, electrode area and electrode materials. LB films deposited were made of L- $\alpha$ -DLPC, the 1 layer's thickness of 35Å was measured by ellipsometer. And MLS capacitor with different electrode materials, the work function of these materials was investigated to increase the leakage current. The result indicated the lower leakage current and very high saturation value of capacitance was reached within 700-800 pF when the two electrode was Ag. And  $\epsilon_1$ ,  $\epsilon_2$  versus photon energy showed good film formation.

**Key Words(중요용어)** : LB method(LB법), Lipid ultra thin film(지질초박막), MLS capacitor(MLS 캐패시터)

#### 1. 서 론

분자전자소자는 기존의 무기물을 재료로 하는 소자에 비해서 여러가지 장점들을 가지고 있는데 전기신호 및 광신호등의 신호전달이 분자 수준의 미세한 구조속에서 더욱 빨라질 수 있고 제작 조건이 진공이나 고온분위기 그리고 대규모의 고가의 장비와 환경, 에너지를 필요로 하는 무기물 박막에 비하여 경제적이고 단순하다는 점이다. 무기물의 박막은 최소 두께가 수 백에서 수 천 Å인데 유기물 박막은

불과 수 Å에서 수 십Å의 두께로 제작이 가능하기 때문에 집적도가 더욱 커질 수 있다.<sup>1)</sup> 그리고 이분자 수준의 박막은 자체적으로는 외부의 신호자극이나 전기전도에 의하여 발열하지 않으므로 내구성이나 수명등이 무기물 소자에 비하여 더 좋은 특성을 나타낼 것으로 기대되고 있다. 컴퓨터 병렬처리의 알고리즘을 모방하는 연구와 생체고분자 물질등을 이용하여 인공적으로 구조와 기능을 조합하는 연구가 수행되고 있는데 분자전자소자를 박막화 하여 제작할 수 있는 가장 유력한 방법은 LB법이다. 이 방법은 유기물 중 계면활성 물질의 분자구조가 친수기와 소수기를 갖는 점을 이용한 것으로 수면위에 이러한 물질을 적하하면 단분자층으로 분산되게 되며 이를 압축하여 결합력을 가진 상태로 기판에 한 층씩 적층하는 방법이다. 유기 금속이나 polyimide계의 유기 고분자와 같은 물질들을 분자막으로 적층한 연구가 많으며 생체물질로는 지방산

\* : 조선대학교 전기공학과

\*\* : 조선대학교 컴퓨터공학과

\*\*\* : 조선대학교 전자정보통신공학부

\*\*\*\* : 서강정보대학 열병동과

\*\*\*\*\* : (주)이남반도체

(광주시 동구 서석동 375, Fax:062-232-9218

E-mail: wslee@mail.chosun.ac.kr)

1997년 12월 22일 접수, 1998년 7월 20일 심사완료



었다. 실리콘 웨이퍼위에 1 층 제막한 후 Ellipsometer ( Rudolf S 2000 )를 이용하여 두께를 측정한 결과 실리콘 웨이퍼와의 계면에서 형성된 SiO<sub>2</sub> 막의 두께가 30 Å, LB 막의 두께는 35 Å으로 나타났으므로 8층을 제막하였을때 약 280 Å의 두께가 될것으로 생각된다. LB 법에 의하여 박막을 제막하는 방법은 크게 3가지가 있는데 각각 X,Y,Z-type 이라고 한다. X-type 은 디퍼가 내려가면서 막을 전이시키는 방법이고 Y-type 은 디퍼가 올라가고 다시 내려갔다가 다시 올라가는 방법으로서 한 번에 3 층의 박막이 제막되며 Z-type 은 디퍼가 올라가면서 막을 전이시키는 방법이다.

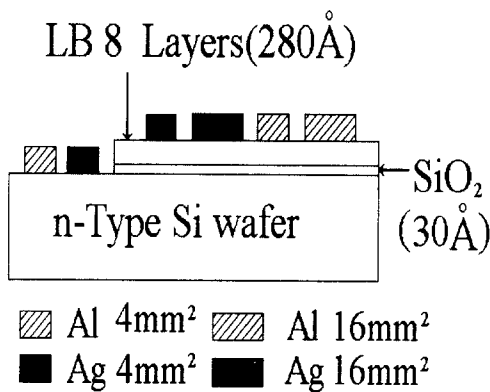


그림 2. MLS 캐패시터의 구조  
Fig. 2. The structure of MLS capacitor

Y-Type 으로 제막한 결과는 디퍼가 내려갈때의 전이비만이 좋지 않은 결과를 나타내어 Z-Type 으로 전이비가 100 % 에 가까운 다층제막을 할 수 있었다. 박막의 완전 건조와 화학적 안정성을 위하여 1 층 제막한 후 24 시간 후에 다시 1 층 제막하는 방식으로 다층제막을 할 수 있었다. 상부전극과 하부전극으로는 진공증착기 ( Vacuum science VSSE-2TS ) 를 이용하여 각각 Ag, Al 을 증착하였다. Ag, Al 을 증착한 이유는 두 전극의 전위차가 다르기 때문에 각각 상부전극과 하부전극으로 이용하였을때 가장 이상적인 전극의 조합을 알아보기 위한 것과 이 두 전극과 LB 막 계면에서의 영향을 조사해보기 위한 것이다. 그리고 Ag 는 Al 에 비하여 산화되지 않는 귀금속류의 전극이며 증착시

에 전극으로서 Al 보다 구조적으로 다르기 때문에 이에 대한 영향을 고찰해보고자 한다.

그림 3은 MLS 캐패시터의 제작 공정을 나타낸다. 실리콘 웨이퍼는 아세톤과 알콜, 초순수 등을 이용하여 초음파 세척기 ( Branson 1200 ) 로 세척하였고 Moving wall type LB 법에 의하여 8 층 제막한 다음 면적에 의한 영향을 고찰하기 위하여 4 mm<sup>2</sup> 과 16 mm<sup>2</sup> 의 전극 마스크를 이용하였고 각 전극간의 간격은 약 5 mm 이며 진공 증착기 ( VSSE-2TS ) 로 전극을 증착하였다. 100 mg 의 Ag, Al 분말을 텅스텐 보트에 담아 Rotary pump 와 Diffusion pump 를 이용하여 10<sup>-6</sup> Torr 까지 배기한 후 30 Å 의 전류를 가하여 증착하였고 확산되는 열에 의한 LB 막의 열화를 방지하기 위하여 Shutter 를 이용하여 약 5 초간 증착하였다. 전기적 특성은 Keithley 6517A Electrometer 를 이용하여 -5V ~ +5V 의 전압범위에서 I-V 특성을 측정하였고 CV 특성은 Keithley 590 CV Analyzer 를 PC 에 연결하여 측정하였다. 측정 주파수는 각각 100 kHz 와 1 MHz 이며 -5V ~ +5V 의 전압범위에서 Step voltage 는 0.1V, Sweeping time 은 0.1 minutes 의 조건에서 측정하였다.

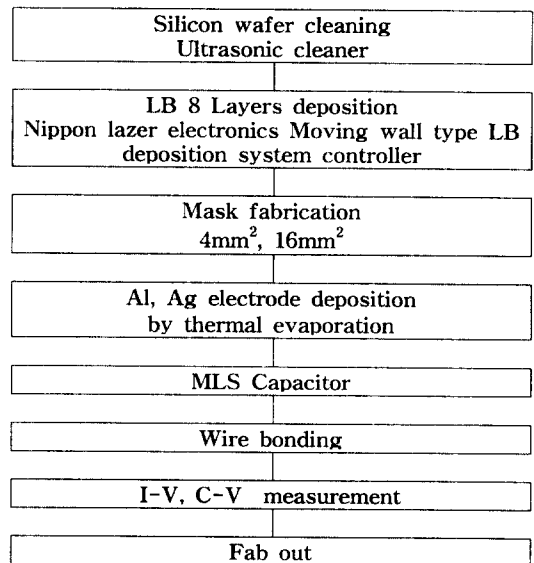


그림 3. MLS 캐패시터의 제작 공정  
Fig. 3 The fabrication process of MLS capacitor

3. 실험결과 및 검토

그림 4 는 제작된 MLS 캐패시터의 상부전극 재료에 대한 누설전류의 특성인데 하부전극은 Al 이며 상부전극은 Al 과 Ag 를 사용한 경우이다. 상부전극이 Ag 인 경우가 Al 보다 더 높은 누설전류를 나타내었으며 전압증가에 따라 누설전류가 Al 을 사용하였을때 완만하게 증가하는 것에 비하여 크게 증가함을 보였다. 상부전극이 Ag 일때 5V 에서의 누설전류는 127.405  $\mu\text{A}$  를 나타낸 반면 상부전극이 Al 일때는 20.721  $\mu\text{A}$  를 나타내어 상부전극으로 Al 을 사용할때 누설전류가 약 5 배이상 적게 흐름을 관측할 수 있었다. Ag 를 LB 막 위에 증착한 경우가 누설전류가 더 높은 이유는 금속 Ag, Al 의 일함수 차이로 생각되는데 Ag 는 4.28 eV, Al 은 4.2 eV 의 평균치를 갖기 때문에 Ag 의 일함수는 약 0.08 eV 정도 높기 때문이라고 생각된다. Al 을 상부와 하부전극으로 사용한 경우에는 전도가 적어져서 누설전류가 적게 나타난 것으로 생각된다.

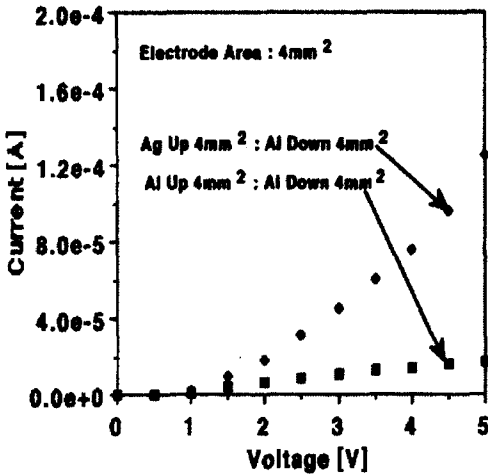


그림 4. MLS 캐패시터의 I-V 특성 (상부전극: Al, Ag 하부전극: Al)

Fig. 4. I-V Characteristics of MLS Capacitor (Upper electrode: Al, Ag Lower electrode: Al)

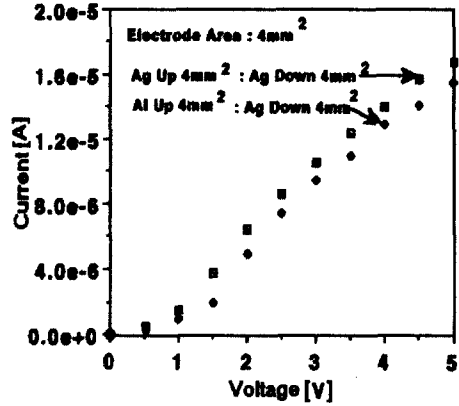


그림 5. MLS 캐패시터의 I-V 특성 (상부전극: Al, Ag 하부전극: Ag)

Fig. 5. I-V Characteristics of MLS Capacitor (Upper electrode: Al, Ag Lower electrode: Ag)

그림 5는 상부전극을 Al, Ag 로 하고 하부전극을 Ag 로 하였을때의 누설전류의 비교인데 상부전극이 Ag 일때 5V에서의 누설전류는 16.84  $\mu\text{A}$ , 상부전극이 Al 일때 15.617  $\mu\text{A}$  를 나타내었으며 기울기는 비슷하였다. 같은 종류의 전극을 사용한 경우보다 Al 이 상부전극으로 증착된 경우에 적은 차이지만 더 낮은 누설전류가 흐르는데 그 이유는 상부전극이 양극이 되기 때문에 역시 페르미 준위에서 Ag 가 갖는 금속의 일함수 평균치가 4.28 eV 로 더욱 크기 때문이며 이것이 Ag 에서 절연체 준위를 넘어 Al 로의 전도를 어렵게 하기 때문이라고 생각된다.

그림 6 은 하부전극을 각각 Al, Ag 를 사용하고 상부전극은 Ag 를 각각 4 mm<sup>2</sup>, 16 mm<sup>2</sup> 로 면적을 다르게 하여 비교한 결과인데 상부전극이 Ag 16 mm<sup>2</sup>, 하부전극은 Al 일때 누설전류는 165  $\mu\text{A}$ , 상부전극이 Ag 16 mm<sup>2</sup>, 하부전극은 Ag 일때 누설전류는 19.657  $\mu\text{A}$  로 나타나 전체적인 특성에서 상하부 모두 Ag 인 경우의 누설전류가 적게 나타났고 전압의 증가에 따른 누설전류의 증가는 완만하게 상승하며 상부전극을 Ag 로 사용할때 하부전극이 Al 일 때가 Ag 일때보다 누설전류가 크게 상승함을 알 수 있었다. 이것은 LB 막과의 계면에서 증착된 금속전극이 LB 막으로 침투하기 때문에 면적이 커질

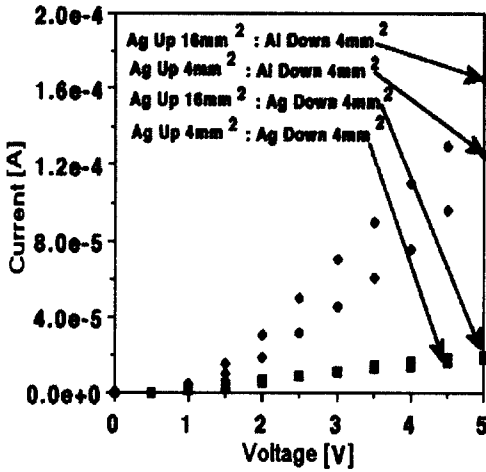


그림 6. MLS 캐패시터의 I-V 특성 (상부전극: Ag 4mm<sup>2</sup>, 16mm<sup>2</sup>, 하부전극: Ag, Al)

Fig. 6 I-V Characteristics of MLS Capacitor (Upper electrode: Ag 4 mm<sup>2</sup>, 16 mm<sup>2</sup>, Lower electrode: Ag, Al)

수축 누설전류의 경로가 많아지며 실질적인 전극과 하부의 실리콘 웨이퍼 사이의 유전체막의 두께가 작아져서 누설전류가 증가되는 것으로 생각된다. 이것은 LB 막이 무기물박막에 비해 상대적인 약점층의 하나로서 강도가 약하다는 점이므로 현재까지는 뚜렷한 해결책은 없으나 어느 정도 깊이 까지 침투되는지 측정하여 이를 고려하는 방법이 유용할 것으로 본다. 상하부전극의 재료가 다를때 면적에 따른 누설전류의 차이가 더욱 증가하는 것은 일함수 차로 인한 전자이동이 전극면적에 비례하여 커진다는 것을 의미한다. 이것은 전극면적이 넓어지면 실제적으로 유전체의 두께가 더욱 작아지고 이에 따라서 분극되지 않는 부분의 경로를 통한 누설전류의 흐름의 분포가능성이 더욱 커지기 때문으로 보인다.

그림 7 은 상부전극에 Ag, Al 을 사용하고 하부전극에 Al 을 사용하였을때의 정전용량 특성인데 상부전극이 Ag 인 경우가 Al 보다 더 높은 정전용량을 가짐을 알 수 있었다. 정전용량이 커지기 위해서는 전도도가 높은 금속이 사용되었을때 유전분극이 전도도가 낮은 금속보다 크게 나타날 수 있으며

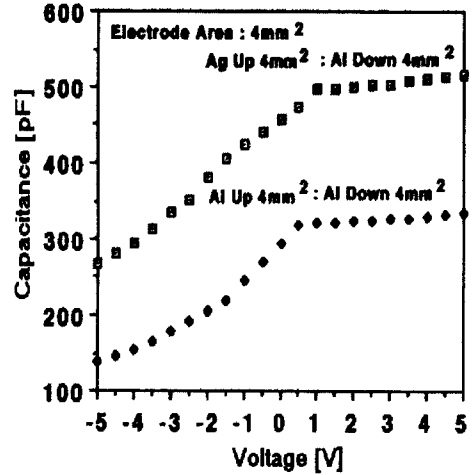


그림 7. MLS 캐패시터의 C-V 특성 (상부전극: Ag, Al 4 mm<sup>2</sup>, 하부전극: Al 4 mm<sup>2</sup>)

Fig. 7. C-V Characteristics of MLS Capacitor (Upper electrode: Ag, Al 4 mm<sup>2</sup>, Lower electrode: Al 4 mm<sup>2</sup>)

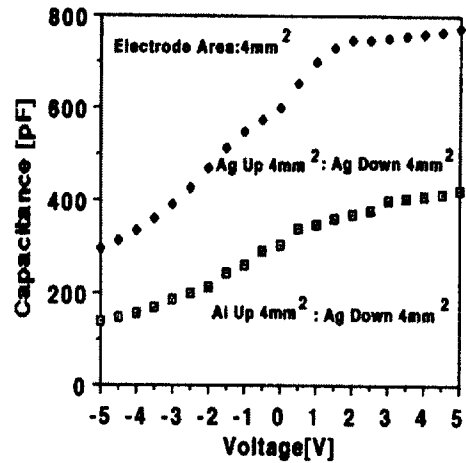


그림 8. MLS 캐패시터의 C-V 특성 (상부전극: Ag, Al 4 mm<sup>2</sup>, 하부전극: Ag 4 mm<sup>2</sup>)

Fig. 8. C-V Characteristics of MLS Capacitor (Upper electrode: Ag, Al 4 mm<sup>2</sup>, Lower electrode: Ag 4 mm<sup>2</sup>)

로 Al 과 같은 금속보다 Ag 등의 noble metal 류가 유리하다는 것을 알 수 있다.

그림 8 은 상부전극을 Al 과 Ag 하부전극을 Ag 로 하였을때의 정전용량의 비교인데 Ag 를 각각 상부, 하부 전극으로 사용하였을때 인가전압 5 V 에서 약 770 pF 의 용량이 나타남을 알 수 있었다. C-V 곡선은 본 논문에서 n - Type silicon wafer 를 사용하였기 때문에 + 전압의 상승에 따라 상승 곡선이 되며 p - Type 은 그 반대가 된다. 하부전극에서 p - Type 에 가해지는 전압이 + 의 방향으로 상승함에 따라 C-V 곡선은 축적 (accumulation) 에서 반전 (inversion) 영역으로 움직이지만 하부전극에서 n - Type 에 가해지는 전압이 - 의 방향으로 상승하면 C-V 곡선은 축적 (accumulation) 에서 반전 (inversion) 영역으로 움직인다.

그림 9 는 하부전극으로 Al, Ag 를 각각 증착하고 상부전극은 Ag 를 4 mm<sup>2</sup>, 16 mm<sup>2</sup> 으로 면적을 다르게 하여 비교한 결과인데 상부와 하부 모두 Ag 일때가 가장 큰 정전용량을 가지며 전극면적은 작을 수록 정전용량이 증가하였는데 그 이유는 면적이 커질 수록 금속전극이 LB 막내로 침투하는 양이 많아져서 그림 5 에 나타난 결과와 같이 누설전류가 커지게 되고 이것은 막의 유전성에 나쁜 영향을 미친다고 생각된다. 일반적인 무기물 유전체 박막의 경우 산화막과 전극 계면에서의 침투로 인한 유전성의 감소가 현재까지는 크게 고려되지 않으므로 정전용량의 관계식  $\epsilon S / d$  에 따라 전극면적이 커지면 정전용량이 상승하는 것으로 생각될 수 있지만 본 논문에서는 반대의 결과가 나타났다. 그것은 무기물 유전체 박막은 아직까지는 수백 Å 이하의 초박막 공정이 어렵기 때문에 대개의 경우 두께가 크다는 점과 강도가 유기물에 비해 강하기 때문이다. 집적회로 공정에 적용하기 위해서는 유전체의 면적자체가 작아져야 하기 때문에 현재 가능한 영역 정도의 마이크론 단위에서는 이러한 영향이 크게 작용하지 않을 것으로 생각된다. 대표적 무기물 절연재료인 산화막이나 세라믹 박막유전체와 비슷한 제작조건 (유전체면적 등) 에서 비교해보면 포화 정전 용량이 수십 pF 이지만 LB 유전체막 (L- $\alpha$ -DLPC) 의 정전용량은 수 백 pF 에 달하여 대단히 높은 정전용량을 가짐을 알 수 있었고 이것은 하부의 SiO<sub>2</sub> 까지 포함한 두께가 불과 약 310 Å

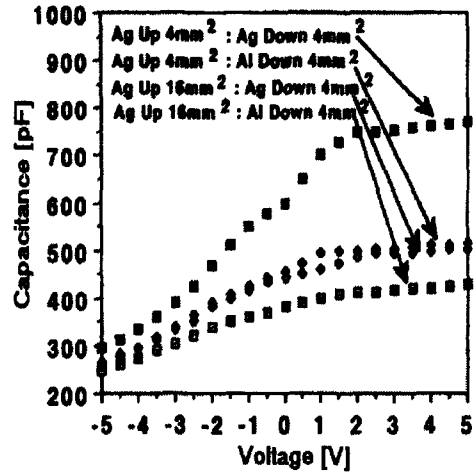


그림 9. MLS 캐패시터의 C-V 특성  
(상부전극: Ag 4 mm<sup>2</sup>, 16 mm<sup>2</sup>  
하부전극: Al, Ag 4 mm<sup>2</sup>)

Fig. 9. C-V Characteristics of MLS Capacitor  
(Upper electrode: Ag 4 mm<sup>2</sup>, 16 mm<sup>2</sup>  
Lower electrode: Al, Ag 4 mm<sup>2</sup>)

이며 Si wafer 를 사용하여 -5 ~ +5 V 의 범위에서 절연과피도 일어나지 않았기 때문에 새로운 제작환경 (상온, 상압) 에서 공정이 가능한 좋은 절연재료가 될 수 있음이 입증되었다.

그림 10은 광자 에너지의 변화에 따른 복소유전율을 나타낸 것이다. 실리콘 웨이퍼위에 DLPC를 1 층 누적한 시료를 Ellipsometer (Rudolf S2000)를 이용하여 측정하였는데 결과로서 두께와 복소굴절율이 나타날 수 있고 이 복소굴절율은 실수와 허수로서 각각  $\epsilon_1$ 과  $\epsilon_2$  가  $n^2 - k^2$ ,  $2nk$ 가 되며 n과 k는 각각 실수분과 허수분이 된다. 광자의 에너지의 단위는 eV 이며 1 eV 는 약  $1.602 \times 10^{-19}$  J 에 해당한다. 파동상에서의 파장이  $\lambda$  ( $\mu\text{m}$ )인 광은 입자상에서는 1개가  $E$  (eV)  $\approx 1.24/\lambda$  ( $\mu\text{m}$ )의 에너지를 갖는 광자의 집단흐름이 된다. 약 400 nm ~ 600 nm 사이의 복소유전율은 그림에서와 같이 큰 변화가 없었으므로 가시영역에서는 유전분산이 없는 안정한 유전체라고 생각된다. 굴절율과 유전율과는 밀접한 관계가 있기 때문에 막의 표면상태도 매우 균질한 표면임을 알 수 있었다.

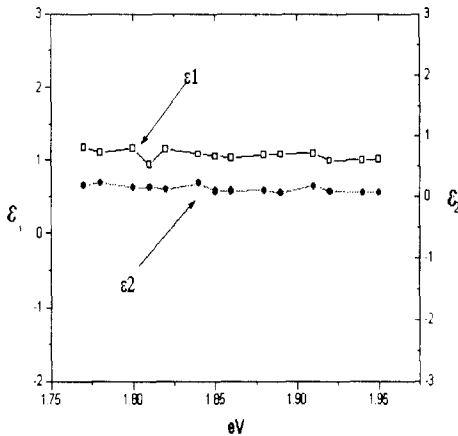


그림 10. 광자에너지에 의한 DLPC 막의  $\epsilon_1$  과  $\epsilon_2$   
 Fig. 10. Dielectric constant  $\epsilon_1$  and  $\epsilon_2$  of DLPC layer by photon energy.

#### 4. 결 론

본 논문에서 가능성 분자전자소자에서 유기절연막으로의 가능성이 있는 인지질 L- $\alpha$ -DLPC 를 제막하여 MLS capacitor 를 제작하고 그 유전성에 대하여 연구한 결과 기존의 무기물소자 보다 다소 누설전류는 크지만 높은 정전용량을 갖는다는 것을 알 수 있었다. 그리고 전극재료, 전극면적을 다르게 하여 실험한 결과로서 얻어진 결론은 다음과 같다.

1. 상하부 모두 같은 전극재료를 사용하였을 때 누설전류는 다른 전극재료를 사용한 경우에 비해서 적은 값을 나타내었다.
2. 상부와 하부 모두 Ag 인 경우 누설전류가 가장 적게 나타났고 전압의 증가에 따른 누설전류의 증가는 완만하게 상승하였다.
3. 전극면적이 넓어지면 터널링전류와 전극이 LB 막 내부로 침투하여 분극되지 않는 부분의 경로를 통한 누설전류의 흐름의 분포가능성이 더욱 커지기 때문에 누설전류는 면적이 적을때보다 크게 증가하였다.
4. 상부전극에 Ag, Al을 사용하고 하부전극에 Al

을 사용하였을 때 상부전극이 Ag 인 경우가 Al 보다 누설전류는 증가하였지만 더 높은 정전용량을 가짐을 알 수 있었다.

5. 상부와 하부전극이 모두 Ag 일때 가장 높은 정전용량이 나타났고 전극면적이  $4\text{mm}^2$ 에서  $16\text{mm}^2$  로 커질때 정전용량은 감소하였다.
6. Ellipsometer의 관측에서 400 nm ~ 600 nm 사이의 복소유전율은 큰 변화가 없었으므로 가시영역에서는 유전분산이 없는 안정한 유전체라고 생각된다.

#### 감사의 글

본 논문은 1998 년도 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었음

#### 참 고 문 헌

1. Hans Kuhn, "Present status and future prospect of LB film research" 89 Fourth international conference on LB films. PP.2-3 1989
2. M. Iwamoto, A. Fukuda "Charge storage phenomena and I-V characteristics observed in ultrathin polyimide Langmuir Blodgett films" Jpn. J. Appl. Phys. Vol 31 PP. 1092-1096 1992
3. S. Mukhopadhy, C. A. Hogarth, S. C. Thorpe, M. J. Cook "Room temperature toluene sensing using phthalocyanine Langmuir Blodgett films" Journal of material science : Materials in electronics 5 PP. 321-323 1994
4. V. A. Howarch, M. C. Petty "Phospholipid-based potassium selective Langmuir Blodgett films" 89 Fourth international conference on LB films. PP. 496-497 1989
5. 오 세중, 이 창희, 김 정수 "Langmuir Blodgett 법으로 누적된 Arachidic acid 의 전기적 특성" 대한전기학회 추계종합학술대회 논문집 PP. 277-279 1992
6. 권 영수, 강 도열 Taro hino "Langmuir Blodgett 막과 미래의 electronics 소자" 전기전자재료학회지 제 2권 제 1호. PP. 1-13 1989
7. J. Zhen, C. Lin, J. S. Men, T. L. Wei, Y. Wei "Surface state density distribution in band gap of Metal/LB Films/Semiconductor structure" 89 Fourth international conference on LB films. PP. 388-389 1989.