

# LB 초박막 MIM 구조에서의 전자이동

## Electron Behavior in MIM Structures of LB Ultra-thin Films

- ° 권 영 수, 동아대학교 전기공학과
- \* 강 도 열, 홍익대학교 전기제어공학과
- \*\* 국 상 훈, 조선대학교 전기공학과
  
- ° Young-Soo Kwon, Dong-A University
- \* Dou-Yol Kang, Hong-Ik University
- \*\* Sang-Hoon Kook, Cho-Sun University

### Abstract

Behavior of electron in polyimide LB films of Al/polyimide LB films/Au (MIM) structures is reported in the present paper. From experimental results, it is known that there is a process where electron moves from Au electrode to Al electrode through LB film. And the electrons are presumed to move by diffusion since the direction is opposite to electric field.

### 1. 서론

Langmuir-Blodgett(LB)절연막을 사용한 Metal/Insulator/Metal(MIM) 구조의 소자에서 직류전압이 발생한다는 사실이 20여년전에 알려졌다. 내부전압(Internal Voltage)등을 가정하여 직류전압의 발생을 설명하고 있다<sup>1)</sup>. 그러나 내부전압의 발생 원인에 대해서는 명확하게 밝혀지지 않고 LB막 또는 전극에서 일어나는 화학반응(Chemical reaction)에 의해서 기전력(Electro-Motive Force:EMF)이 발생한다는 것이 대부분이었다.

최근 필자들은 1986~1987년에 제작된 Polyimide LB막 및 다른 여러 종류의 LB막 MIM 소자에서 발생전압을 측정하였다. 측정 결과 LB막 제작 당시와 거의 같은 크기의 0.1~0.2 Volt 의 발생전압을 확인할 수 있었다. 이와같은 사실은 전압발생의 원인이 종래 알려진 화학반응에 의한 기전력이 아닌것을 의미하고 있다. 따라서, 필자

들은 기전력 발생에 대한 실험결과를 종합하여 화학반응이 아닌 다른 어떤 원인으로 인하여 기전력이 발생하는 것으로 보고 하였다<sup>2)</sup>.

본 논문에서는 polyimide LB막을 Al과 Au로 Sandwich시킨 MIM 구조의 소자에서 Au(상부)전극에 있는 전자(electron)가 전기장(electric field)와 반대로 LB막 내부를 통해 Al(하부)전극 방향으로 이동하는 현상을 논의 하였다. 이와 같은 전자의 움직임은 전압 발생 원인에 관계되는 중요한 현상으로 생각되므로 실험 결과를 보고한다.

### 2. 시료 및 실험 방법

#### 2.1 시료

시료는 그림 1 처럼 Polyimide LB막을 Al 및 Au 로서 진공 증착한 MIM 구조를 사용하였다. LB막은 7층 누적한 것으로서 Polyimide 의 단분자층(monolayer)의 두께는 4.2Å으로서 매우 얇은 것이다<sup>3)</sup>. 즉, 기판/Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/PI(7층)/Au 의 구조이다. 여기서 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 는 Al 증착 전극의 표면이 공기 중에서 생긴 자연산화막으로서 약 30Å의 두께이다.

본 실험에서 사용한 시료는 1986년에 제작되어 공기중에 방치된 시료 가운데 한 시료에 대해 실험한 것을 주로 나타내었지만, 다른종류의 여러 시료들의 경우에도 거의 동일한 실험 결과를 측정할 수 있었다.

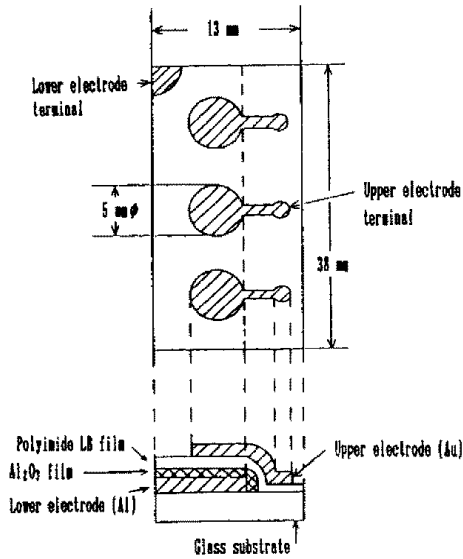


Fig. 1 Schematic illustration of samples

## 2.2 실험 방법

시료는 그림 2와 같은 측정 회로로서 glass 용기에 밀폐되어 있으며, 분위기로는 He, N<sub>2</sub> 및 공기중에서 측정 하였다. 특히, 아무런 표시가 없는 경우에는 공기중 실온(약 23℃)에서 측정한 결과이

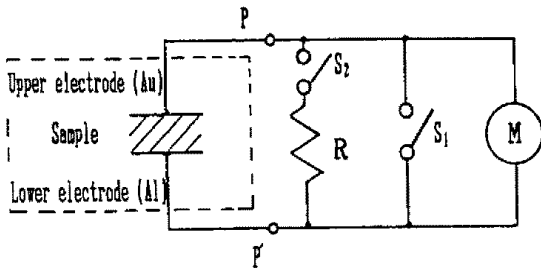


Fig. 2 Circuit for the measurements

다. 전압은 Al 전극에 대해 Au 전극의 값을 측정 하였다. 이때 저항 R 은 10<sup>8</sup>, 10<sup>9</sup>, 10<sup>10</sup>, 10<sup>11</sup> (Ω) 을 각각 사용하였으며, 스위치 S<sub>2</sub> 를 open 하여 저항 R 을 연결하지 않는 경우를 R=∞ 로서 나타내었다. M 은 전압계(Keithley 614 Electrometer)로서 입력임피던스(Input Impedance)는 5×10<sup>14</sup> (Ω)의 것을 사용하였다. S<sub>1</sub> 은 10(MΩ)의 저항을 통하여 M 에 내장되어 있는 단락 스위치(Short switch) 이다.

## 3. 실험 결과 및 검토

### 3.1 MIM 소자의 정전 용량

LB 막을 전극 금속으로 sandwich 시킨 MIM 구조의 경우에 MIM 소자의 정전용량 C 는 다음 식

으로 나타낼 수 있다<sup>4)</sup>.

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_{ox}} + \frac{1}{C_{LB}} \quad \dots \dots \dots (1)$$

본 실험에서는 두께 30Å의 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 자연 산화막과 직경 5mm인 원형면적의 전극 및 polyimide를 사용하여 실험한 결과 C<sub>ox</sub> 및 C<sub>LB</sub> 의 측정값은 다음과 같았다.

$$C_{ox} = (\epsilon_r S/d) = 0.345 \times 10^{-6} [F]$$

$$C_{LB} = 0.210 \times 10^{-6} [F] \quad \dots \dots \dots (2)$$

따라서 식 (1) (2)에서 C 를 구할 수 있다.

$$C = 0.136 [\mu F] \quad \dots \dots \dots (3)$$

### 3-2 전자의 거동

그림 2의 측정 회로에서 스위치 S<sub>2</sub> 를 close 하여 저항 R을 연결한 후, 단락 스위치 S<sub>1</sub> 을 open 하였을 때의 발생전압 V 와 시간 t 의 관계를 측정하여 그림 3에 나타내었다.

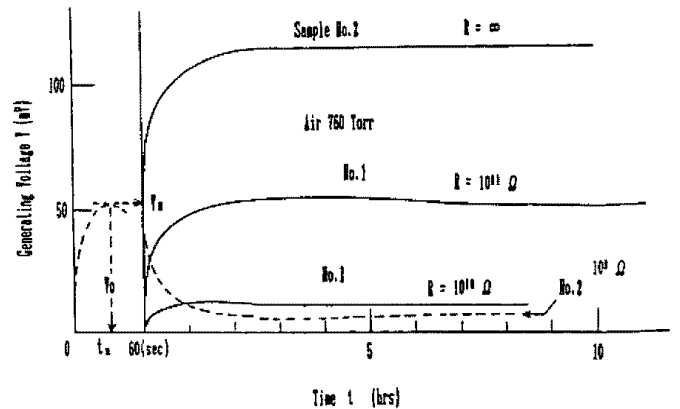


Fig. 3 Time dependences of the generated voltage on various samples

그림 3은 저항 R 및 시료를 변화시켰을 때의 발생전압의 측정값이다. 발생전압은 최대 V<sub>m</sub> 에 도달한 후 감소하기 시작하여 약 10시간 정도 경과하여 일정한 값 V<sub>0</sub> 를 나타내었다. 시료 및 저항에 의해서 V<sub>m</sub>, V<sub>0</sub> 또는 발생 전압이 최대가 될 때까지의 시간 t<sub>m</sub> 등은 다르게 측정되었지만, 그림 3과 같은 특성은 모든 시료의 경우에도 확인할 수 있었다. 그러나 저항을 연결하지 않는 경우 (R=∞)에는 V<sub>m</sub> 이 측정되지 않았다.

이와같이 거의 일정한 직류전압(D.C.Voltage) V<sub>0</sub> 가 존재한다는 것은 Al/LB film/Au/저항R/Al 를 통하여 전도전류가 흐르기 때문으로 생각된다. 이때 carrier 로서는 전자를 먼저 생각할 수 있는데 전자가 LB막 내부를 통하여 이동한다는 사실은 그림 4의 실험결과로서 추

정 가능하다.

먼저 회로의 스위치  $S_2$  를 open 하여, 저항  $R$  을 제거하며( $R=\infty$ ), 그후 스위치  $S_1$  을 open 하여 발생전압-시간 특성을 측정한다. 발생전압이 어느 정도 크게 될때 (p점)에서 그림 2의 스위치  $S_2$  를 close 시켜 회로에  $R=10^9(\Omega)$ 을 연결한다. 발생전압은 상당히 빠르게 감소하지만, q점에 도달했을때 다시 스위치  $S_2$  를 open 하여 저항  $R$  을 제거하면 발생전압은 다시 증가하게 된다. 스위치를 on-off 할때에도 그림 4와 같이 발생전압을 측정하였으며, 잡음(Noise) 에 의해 측정전압이 바뀌지 않도록 주의 하였다.

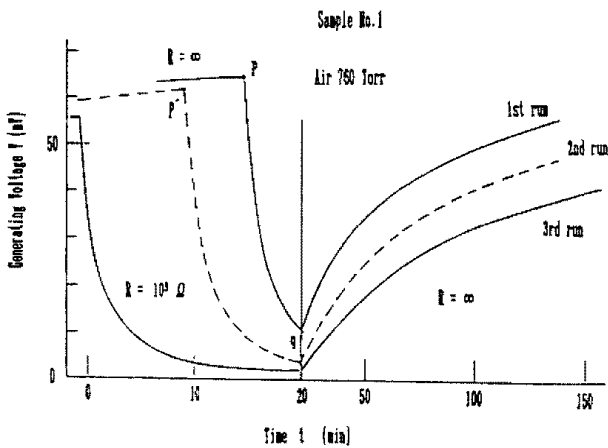


Fig. 4 Generated voltage measured successively in various resistance

상기의 경우, 전압이 p 점 까지 발생할때는 외부회로에 저항이 연결되지 않았기 때문에 외부에는 전류가 흐르지 않는다. 따라서 전극에 있는 전하가 변화하고 있는 상태이다. 이 경우 p점까지는 Au 전극의 정전압(positive voltage)이 상승하고 있기 때문에 전자는 전계와 반대로 Au 전극에서 LB 막을 통하여 Al 전극의 방향으로 이동하게 된다. p - q 사이에는 Al 전극에서 외부저항  $R$  을 통하여 Au 전극으로 전자가 전계에 의해 흐르게 된다. 이 전자의 이동은 p 점까지의 전자의 움직임(electron behavior)과 같은 방향이다. q 점 이후에는 다시 전압이 상승하지만 이경우에도  $R=\infty$  로서 외부회로는 open 되어 있기 때문에 전자는 역시 전계와 반대 방향으로 Au 전극에서 LB 막을 통하여 Al 전극으로 이동하게 된다.

이상의 측정 결과를 그림 4의 1st run 으로 나타내었다. 1st run 의 측정이 끝난 후, 발생 전압이 증가하여 다시 p 점 정도의 크기의 전압이 되는 p' 점에서 동일한 측정을 반복하여 2nd run, 3rd run으로 표시하였다. 즉 그림 4의 결과로부터 전자가 LB 막내부를 통하여 Au 전극으로 부터 Al 전극 방향으로 이동한다는 것을 알 수 있다.

p - q 사이에서는 전자가 Al 전극으로부터

저항  $R$  을 통하여 Au 전극으로 흐른다는 실험결과는 그림 5에서도 확인 가능하다. 그림 4의 p - q 사이에서 3개의 곡선을 semi-log 로서 표시한 것이 그림 5인데, 발생전압의 초기과정 부분은 직선 관계로서 그 기울기가 동일하다. 그림 5의 삽입도와 같은 회로에서, 전압  $V_0$ 로서 충전된 용량  $C$  의 콘덴서가 스위치  $S$  를 close 시키면 저항  $R$  을 통하여 방전(discharge)할때 콘덴서  $C$  의 양 전극사이에서 전압  $V$  의 시간변화는 다음과 같다.

$$V = V_0 \exp(-t/CR)$$

$$\ln(V) = \ln(V_0) - (1/CR)t \quad \dots\dots (4)$$

여기서  $t$ 는 시간이며,  $V_0$ 는 초기전압이다.

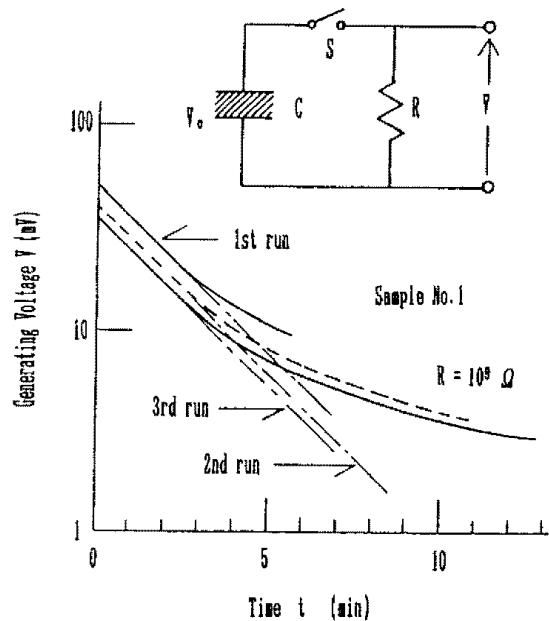


Fig. 5 Linear relation of log (generated voltage) ~ time

그림 5의 직선 기울기로부터  $CR$  즉 시정수를 구할 수가 있다. 여기서는  $R = 10^9(\Omega)$ 을 사용하였으므로 식(4)에 의해  $C$  를 계산하면 다음과 같다.

$$C = 0.15 [\mu F] \quad \dots\dots (5)$$

식 (3)과 식 (5)의 값은 거의 일치하는것으로서 그림4의 p - q 사이에서 전압의 감소는 저항  $R=10^9(\Omega)$  을 통한 전하이동에 의한 것임을 나타내는 것이다. 또한, 시간경과에 대해 측정값이 직선으로부터 벗어나는것은 발생전압이 존재한다는 것을 의미하는 것으로 생각된다.

#### 4. 결론

LB막을 금속전극으로 sandwich 시킨 MIM 구조에서의 전압발생 현상에 대한 원인을 조사하기

위한 연구의 하나로써 LB 막 내부에서의 전자의 움직임(거동)에 대해서 검토하였다.

실험 결과, 전자가 Au 전극으로 부터 LB 막을 통하여 Al 전극으로 이동하는 process가 존재한다는것을 알 수 있었다. 이때 전자의 이동은 전계와는 반대 방향으로 움직이기 때문에 확산(diffusion)에 의한 전자의 이동으로 생각되어 실험을 계속하고 있다.

전압 발생에 대한 mechanism 은 아직 해결되지 않았지만 본 연구에서의 실험 결과처럼 LB 막 내부의 전자 carrier 의 움직임등이 밝혀지고 있어 발생 전압에대한 원인이 장차 해결될 것으로 기대 된다.

본 연구는 과학기술처의 특정개발과제연구비 지원에 의해 수행되었음을 알리며,  
과학기술처에 감사로 드린다.

### 참고문헌

- 1) A.K.Kapil, et.al  
" Internal Voltage in Symmetric MIM Junction with even Number of Organic Monolayers ",  
J. Appl. phys, Vol. 50, p 6417 ( 1979 ).
- 2) Y.S. Kwon, D.Y.Kang and T.Hino  
" Electro-motive Force Generated in MIM Structure of LB Films "  
Thin Solid Films, To be published.
- 3) 권영수, 강도열, 日野 太郎  
" Langmuir-Blodgett 막과 미래의 Electronics 소자 "  
한국전기전자재료학회지 Vol.2(1), p 1-13 (1989)
- 4) Y.S. Kwon, D.Y.Kang and T.Hino  
" Generation of Inner Electrical Field in Hetero Structure of LB Ultra-thin Films "  
Trans. KIEE 38(8), p 600 (1989)