

PMMA 유기 게이트 절연막의 농도와 두께에 따른 특성

유병철* · 공수철* · 신익섭* · 신상배* · 이학민*
박형호** · 전형탁*** · 장영철**** · 장호정*†

*†단국대학교 전자·컴퓨터공학과, **연세대학교 세라믹공학과
한양대학교 신소재공학과, *한국기술교육대학교 메카트로닉스공학과

Properties of Organic PMMA Gate Insulator Film at Various Concentration and Film Thickness

Byung Chul Yoo*, Su Cheol Gong*, Ik Sub Shin*, Sang Bea Shin*, Hak Min Lee*,
Hyung Ho Park, Hyung Tag Jeon, Young Chul Chang and Ho Jung Chang*†

*†Department of Electronics and Computer Engineering, Dankook University, Cheonan, Chungnam 330-714, Korea

**Division of Materials Science and Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

***Department of Ceramics Engineering, Yonsei University, Seoul 120-749, Korea

****School of Mechatronics Engineering, Korea University of Technology and Education,
Byungcheonmeon, Cheonan, Chungnam, 330-708, Korea

ABSTRACT

The MIM(metal-insulator-metal) capacitors with the Al/PMMA/ITO/Glass structures were manufactured according to various PMMA concentration of 1, 2, 4, 6, 8 wt%. The lowest leakage current and the largest capacitance were found to be 2.3 pA and 1.2 nF, respectively, for the device with 2 wt% PMMA concentration. The measured capacitance of the devices was almost same values with the calculated one. The optimum film thickness was obtained at the value of 48 nm, showing that the capacitance and leakage current were 1.92 nF, 0.3 pA at 2 wt%, respectively. From this experiment, the PMMA gate insulator films can be applicable to the organic thin film transistors.

Key Words : PMMA, Gate Insulator, OTFT, Capacitance, Leakage Current

1. 서 론

유기물을 이용한 유기 박막트랜지스터(organic thin film transistor, OTFT)는 차세대 디스플레이로서 주목을 받고 있는 TFT-LCD(thin film transistor liquid crystal display), OLED(organic light emitting diodes), E-paper 등의 구동소자로서 응용 가능성이 기대되고 있다[1,2]. 유기 박막트랜지스터는 기존의 Si wafer를 이용한 반도체 소자에 비하여 저온에서 간단한 공정으로 형성이 가능하다[3]. 특히 최근에는 휨성(flexible) 디스플레이의 구현을 위해 플라스틱(plastic) 기판상에 게이

트 유기 절연층을 형성하여 유기 박막트랜지스터를 제작하는 연구가 활발히 진행되고 있다[4,5]. 유기 박막트랜지스터 제작시 게이트 절연막의 절연 특성 및 전기적 특성은 소자의 동작 특성에 영향을 미치는 중요한 요소이다[6]. 기존의 SiO_2 , Si_3N_4 , Al_2O_3 등의 무기 절연막은 유기물과 접촉 시 계면특성이 좋지 않아 계면저항의 증가로 ohmic contact에 어려움이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 현재는 PMMA(polymethyl methacrylate), PI(polyimide), PVA(polyvinyl alcohol), PVP(poly-4-vinylphenol) 등의 고분자 물질을 절연막으로 이용한 유기박막 트랜지스터를 제작하는 연구가 진행되고 있다[7]. PMMA재료는 장래성 있는 polymer 재료중의 하나로서 OTFT 분야에서의 게이트 절연막으로서의 적용을 위한 많은 연구들이 진행되고 있다.

*E-mail : hjchang@dankook.ac.kr

OTFT 구조에서 절연막으로서의 PMMA는 열에 대해 내성이 강하고, 작은 누설전류, 액상재료를 이용한 손쉬운 박막형성 공정이라는 장점들을 가지고 있다[8,9].

Moonkyoung Na는 5.6에서 11.2 wt%의 농도로 PMMA 박막을 제작하여 MIM 구조를 제작한 후 10^{-9} A의 누설전류를 특성을 얻었다[1].

본 연구에서는 Transistor 소자가 요구하는 10^{-10} A의 누설전류 특성에 적합한 박막 특성을 얻기 위해 농도와 두께에 따른 실험을 하였다. ITO(indium thin oxide) 코팅된 유리 기판위에 PMMA절연막을 스핀코팅 법으로 형성하였다. 제작된 MIM(metal-insulator-metal) 캐패시터(capacitor) 소자에 대해 PMMA절연층 농도와 두께에 따른 전기적 특성을 비교, 분석하였다.

2. 실험 방법

Fig. 1은 PMMA 절연막의 전기적 특성을 조사하기 위하여 ITO/Glass 기판을 이용하여 제작된 MIM 소자의 단면 구조도를 보여주고 있다. 사용된 기판은 acetone, methanol, I.P.A를 이용하여 초음파 세정하였다. 농도에 따른 절연막의 전기적 특성을 조사하기 위해 고분자 유기 절연막인 PMMA를 Anisole을 용매로 사용하여 1, 2, 4, 6 그리고 8 wt% 농도비로 70°C에서 교반하였다. 제조된 PMMA 절연용액에 대해 스핀코팅 회전 수를 1000rpm의 속도로 20 초(1000rpm/20sec) 동안 스핀 회전수를 고정하여 PMMA 절연막을 형성한 후 진공오븐에서 100°C에서 30분간 건조하였다.

도포된 박막의 두께는 1, 2, 4, 6 및 8 wt% 인 경우 각각 약 42, 62, 150, 410 및 500 nm의 두께를 나타내었다. ITO하부전극의 contact을 위해acetone을 사용하여 lift-off 방법으로 식각 후, 200°C에서 7분간 열처리(curing)를 실시하였다. 마지막으로 열진공증착 장비(SUNICEL PLUS 200)를 이용하여 120 nm 두께와 직경 2 mm (면적 A: 3.14 mm²) 크기로 Al 상부전극을

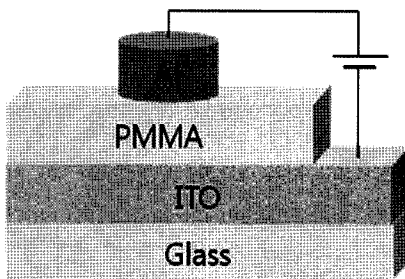


Fig. 1. Metal-Insulator-Metal (MIM) capacitor with Al/PMMA/ITO/Glass structure.

증착하여 MIM 구조의 캐패시터 소자를 제작하였다.

절연막의 두께 별 특성을 조사하기 위해서, 앞의 실험과 동일하게 준비된 ITO/Glass 기판 위에 가장 좋은 전기적 특성을 나타낸 농도비(2 wt%)로 교반된PMMA/Anisole 용액을 500, 1000, 1500rpm/20sec로 스핀코팅 회전수를 조절하여 여러 종류의 두께를 갖는 박막을 준비하였다. 도포된 박막의 두께는 500, 1000, 1500rpm/20sec인 경우 각각 약 200, 62, 48 nm의 두께를 나타내었다.

제작된 캐패시터 소자는 semiconductor analyzer (Agilent B1500A Semiconductor Device Analyzer 및 HP4280A)를 통하여 전류-전압 (I-V) 및 정전용량-전압 (C-V) 특성을 조사하였다. 박막 두께는 알파스텝(α -step profiler) 측정기를 이용하여 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. PMMA 농도에 따른 전기적 특성

Fig. 2는 Al/PMMA/ITO/Glass 구조를 갖는 캐패시터 소자에서 PMMA의 농도에 따른 전류-전압 특성 곡선을 보여주고 있다. 1, 2, 4, 6 및 8 wt%의 농도로 제작된 절연막의 누설전류는 각각 2.3, 2.2, 28, 6.8 그리고 4.9 pA를 나타내어 전류-전압 특성은 2 wt%의 농도로 제작된 절연막의 경우가 가장 우수한 특성을 나타내었다.

이와 같은 결과는 PMMA의 높은 점성이 고분자 내 carrier (전자, 정공)를 많이 생성하므로 전도도의 증가를 가져올 수 있어서 누설전류 값이 증가하기 때문으로 판단된다.

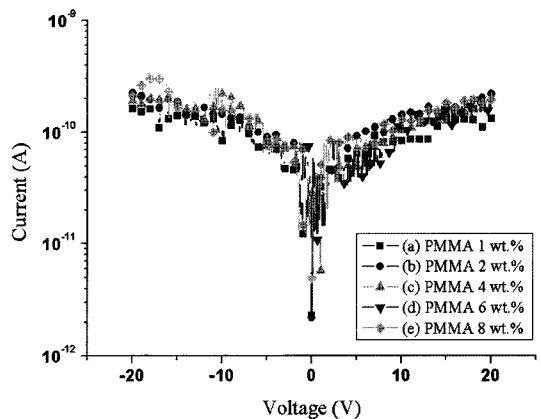


Fig. 2. The Current-Voltage (I-V) characteristics of PMMA insulation film at various concentrations of (a) 1 wt% (b) 2 wt% (c) 4 wt% (d) 6 wt% and (e) 8 wt%.

유기박막 트랜지스터를 제작할 경우, 채널 폭 (width, W), 길이(length, L) 등의 소자 구조와 게이트 절연층의 누설전류와 함께 정전용량 (capacitance, Co) 특성은 트랜지스터의 성능을 좌우하는 요소이다. 일반적인 트랜지스터 동작전류 (포화상태) 식 (1)에서 알 수 있듯이 게이트 절연막의 정전용량이 클수록 트랜지스터의 드레인 전류의 증가와 캐리어 이동도는 향상된다.

$$I_D = \frac{\mu_{FET} C_0 W}{2L} (V_G - V_{TH})^2 \quad (1)$$

여기서, I_D 는 소자의 드레인 전류, μ_{FET} 는 캐리어 이동도, V_G 는 게이트 전압, 그리고 V_{TH} 는 임계전압을 각각 나타낸다.

본 실험에서는 PMMA 게이트 절연막의 정전용량 Co 값을 측정하여 OTFT 소자에 적용가능성을 조사하였다.

Fig. 3은 Al/PMMA/ITO/Glass 구조를 갖는 캐패시터 소자에서 PMMA 유기 절연막의 전압인가에 따른 정전용량의 특성 그래프이다. ITO/Glass 기판에 증착된 PMMA 유기 절연막의 정전용량은 1, 2, 4, 6 및 8 wt%의 농도로 제작된 절연막의 경우 각각 0.03, 1.22, 0.51, 0.24 및 0.16 nF 값을 나타내었으며 2 wt%로 제작된 소자의 경우 1.22 nF으로 가장 우수한 특성을 나타내었다. 이와 같이 측정된 정전용량 값은 1 wt%로 제작된 소자의 경우를 제외하고 캐패시터 구조에서 정전용량 관계식인 식 (2)에 의해 계산된 값과 실제 측정 값이 매우 유사하다는 결과를 얻을 수 있었다. 그러나 1 wt% 농도로 제작된 절연막의 불일치는 작은 농도로

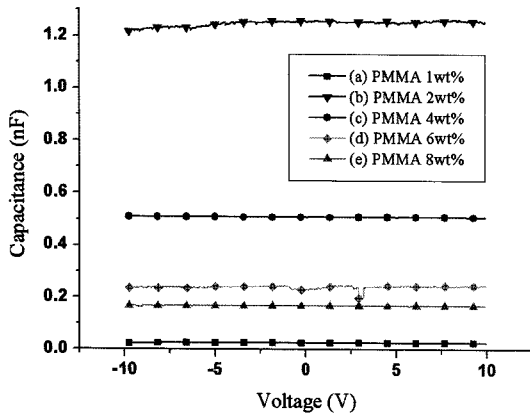


Fig. 3. The Capacitance-Voltage (C-V) characteristics of PMMA insulation film at various concentrations of (a) 1 wt% (b) 2 wt% (c) 4 wt% (d) 6 wt% and (e) 8 wt%.

제작된 박막의 경우 박막의 치밀도가 급격히 떨어지기 때문에 전기적 특성이 거의 나타나지 않는 것이 그 원인으로 판단된다.

$$C_0 = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d} \quad (2)$$

여기서, ϵ_0 는 진공에서의 유전율 (8.86×10^{-12} F/m), ϵ_r 은 PMMA의 비유전율(ϵ_r : 3.5), A는 전극면적(A: 3.14 mm²) 그리고 d는 PVP 절연막의 두께를 각각 나타낸다.

Table 1은 정전용량 관계식 (식 2)에 의해 계산된 값과 측정된 정전용량 값을 나타낸 표이다.

Table 1. Capacitance values with calculation and measurement according to the PMMA concentrations.

	1 wt.%	2 wt.%	4 wt.%	6 wt.%	8 wt.%
Measurement	0.03 nF	1.22 nF	0.51 nF	0.24 nF	0.16 nF
Calculate	2.35 nF	1.59 nF	0.66 nF	0.23 nF	0.19 nF

3.2. PMMA 절연막 두께에 따른 전기적 특성

두께에 따른 전기적 특성을 알아보기 위해, 가장 우수한 전기적 특성을 나타내는 2 wt% 농도의 소자에서 농도를 고정하여 박막의 두께에 따른 전기적 특성을 알아보았다.

Fig. 4는 제작된 캐패시터 소자에서 PMMA 절연층의 두께에 따른 전류-전압 특성 곡선을 보여주고 있다. 200, 62 및 48 nm의 두께로 제작된 절연막의 누설전류는 각각 0.3, 2.2 및 14 pA로 전류-전압 특성은 200 nm 두께로 제작된 절연막의 경우가 가장 우수한 특성을 나타내었다.

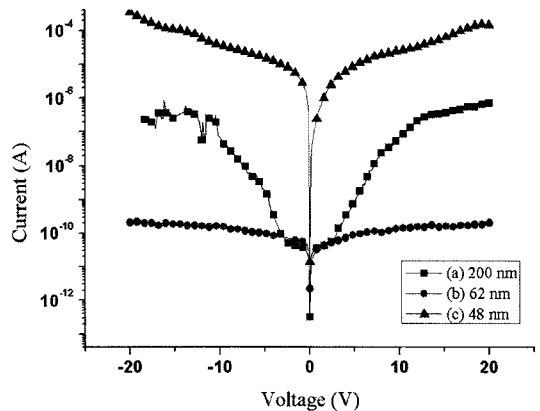


Fig. 4. The Current-Voltage (I-V) characteristics of PMMA insulation film at various thickness of (a) 200nm (b) 62nm (c) 48nm.

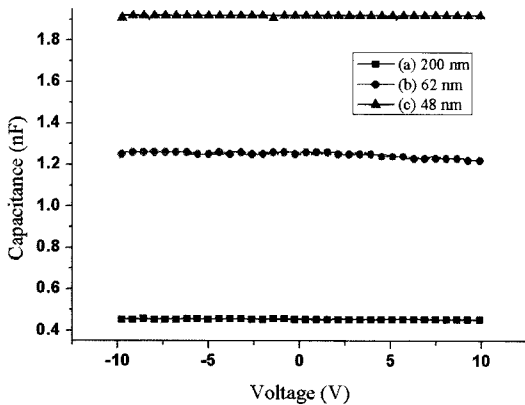


Fig. 5. The Capacitance-Voltage (C-V) characteristics of PMMA insulation film at various thickness of (a) 200 nm (b) 62 nm (c) 48 nm.

Table 2. Capacitance values with calculation and measurement according to PMMA thin film thicknesses.

	200 nm	62 nm	48 nm
Measurement	0.45 nF	1.22 nF	1.92 nF
Calculate	0.49 nF	1.57 nF	2.03 nF

이 결과는 절연층의 두께가 두꺼울수록 막이 안정해져 전류의 누설을 막기 때문이다[10].

Fig. 5는 제작된 캐패시터 소자에서 PMMA 유기 절연막의 전압인가에 따른 정전용량의 특성 그래프이다. ITO/Glass 기판에 증착된 PMMA 유기절연막의 정전용량은 200, 62, 48 nm로 제작된 절연막의 경우 각각 0.45, 1.22 및 1.92 nF을 나타내었으며 48 nm로 제작된 소자의 경우 정전용량은 1.92 nF으로 가장 우수한 특성을 나타내었다.

이와 같이 측정된 정전용량 값을 캐패시터 구조에서 정전용량 관계식인 식에 의해 계산된 값과 비교해 표 2에 나타내었다.

Table 2에서 알 수 있듯이 측정된 정전용량 값은 계산된 값과 거의 일치하였다. 이것은 일정 농도에서는 박막의 치밀도는 두께에 따라 변하지 않고 이에 따른 정전용량 값은 박막의 두께에 의존하기 때문이라고 판단된다.

4. 결 론

유기박막 트랜지스터의 제작에 사용되는 PMMA 게이트 절연막의 농도와 두께에 따른 최적화 연구를 수

행하였다. ITO/Glass 기판위에 PMMA 박막을 형성하여 MIM 구조의 캐패시터 소자를 제작하고, PMMA 게이트 절연막의 농도 및 두께에 따른 전기적 특성을 조사하였다. 우선 농도 별 실험에서 누설전류 값과 정전용량 값은 2 wt%의 농도를 갖는 PMMA 절연막으로 제작된 소자의 경우 각각 2.2 pA, 1.22 nF으로 가장 우수한 특성을 나타내었다. 동일한 농도 (2 wt%)에서 200, 62, 48 nm 두께로 제작된 시료의 누설전류는 200 nm 절연막 두께의 경우 0.3 pA로 가장 좋은 특성을 나타내었고, 48 nm 두께의 소자가 1.92 nF으로 가장 우수한 정전용량 값을 나타내었으며 본 실험 통하여 얻어진 PMMA 게이트 절연막의 누설전류와 정전용량 값은 유기박막트랜지스터 소자에 적용이 가능한 수준임을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단의 특정목적기초 프로그램 (과제번호: R01-2005-000-10058-0)에 의해 수행된 연구의 일부이며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Moonkyoung Na, Shi-Woo Rhee, "Electronic characterization of Al/PMMA[poly(methyl methacrylate)]/p-Si and Al/CEP(cyanoethyl pullulan)/p-Si structures" *Organic Electronics*, Vol. 7, 205-212, 2006.
2. J. Puigdollers, C. Voz, M. Fonrodona, I. Martin, A. Orpella, M. Vetter, and R. Alcubilla, "Flexible Pentacene/PMMA Thin-Film Transistors Fabricated On Aluminum Foil Substrates", *Materials Research Society*, Vol. 871E, 2005.
3. R. BAJPAI, V. MISHRA, PRAGYESH AGRAWAL and S. C. DATT, "Surface modification on PMMA : PVDF polyblend: hardening under chemical environment", *Indian Academy of Sciences*, Vol. 25, 21-23, 2002.
4. Sung Hun Jin, Jae Sung Yu, Chun An Lee, Jin Wook Kim, Byung-Gook Park and Jong Duk Lee, "Pentacene OTFTs with PVA Gate Insulators on a Flexible Substrate", *Journal of the Korean Physical Society*, Vol. 44, 181-184, 2004.
5. B. K. Crone, A. Dodabalapur, R. Sarpeshkar, A. Gelperin, H. E. Katz, and Z. N. Bao, "Organic oscillator and adaptive amplifier circuits for chemical vapor sensing", *J. Appl. Phys.* Vol. 91, 10140, 2002.
6. J. H. Lee, S. H. Kim, G. H. Kim, J. I. Lee, Y. S. Yang, H. Y. Chu, J. Y. Oh, L. M. Do and T. Zyung, "Organic

- transistors using polymeric gate dielectrics”, J. of the Korean Physical Society, Vol. 42, S614S617, 2003.
7. K. Kudo, M. Yamashina, and T. Morizumi, “Light-Emitting Field-Effect Transistor Based on a Tetracene Thin Film”, Jpn. J. Appl. Phys, Vol. 23, 130, 1984.
8. A. Tsumura, H. Koezuka, and Y. Ando, “Polythiophene field-effect transistor: Its characteristics and operation mechanism”, Synth. Meth. Vol. 25, 11-23, 1988.
9. S. RAJENDRAN and T. UMA, “Characterization of plasticized PMMA-LiBF₄ based solid polymer electrolytes”, Indian Academy of Sciences, Vol. 23, 27-29, 2000.
10. I. J. Baek, J. H. Yoo, H. S. Lim, H. J. Chang, and H. Y. Park, “Preparation and properties of PVP gate insulation film for organic thin film transistor”, J. of Microelectronics and Packaging Society, Vol. 12, 359-363, 2005.