

論文2000-37SD-5-2

진공 증착법으로 제작한 PVDF 박막의 유전 특성과 전기전도도에 대한 연구

(A Study on the Dielectric Properties and Electrical Conduction of PVDF Thin Films by Physical Vapor Deposition)

姜 聲 俊 * , 李 原 在 ** , 張 東 勳 ** , 尹 英 燮 **

(Seong Jun Kang, Won Jae Lee, Dong Hoon Chang, and Yung Sup Yoon)

요 약

본 논문에서는 진공 증착법 (Physical Vapor Deposition) 과 전기장을 통해 두께 $3\mu\text{m}$ 의 PVDF (polyvinylidene fluoride) 박막을 제작하여 적외선 흡수분석과 유전특성 및 전기전도 현상을 조사하였다. 진공 증착법으로 제작한 PVDF 박막을 적외선 흡수 분광기 (FT-IR) 로 분석한 결과, $509.45 [\text{cm}^{-1}]$ 와 $1273.6 [\text{cm}^{-1}]$ 의 특성피크가 검출되는 것으로 보아 제작된 PVDF 박막이 β 형임을 확인할 수 있었다. β 형 PVDF 박막의 유전특성을 측정한 결과, 비유전률은 주파수가 증가함에 따라 지속적으로 감소하는 이상분산을 나타내었고 유전손실은 온도의 증가에 따라 200 Hz 에서 7000 Hz 로 유전 흡수점이 이동함을 관찰할 수 있었는데, 이는 디바이 이론과 일치하는 것이었다. 유전손실의 온도 의존성으로부터 구한 활성화 에너지 (ΔH) 는 21.64 kcal/mole 로 조사되었다. β 형 PVDF 박막의 누설전류밀도에 대한 온도의존성과 전기의존성을 조사하여 PVDF 박막의 전기전도기구가 이온전도임을 확인할 수 있었다.

Abstracts

The $3\mu\text{m}$ -thick PVDF (polyvinylidene fluoride) thin film have been prepared using physical vapor deposition with electric field, and its FT-IR specrum, dielectric property and electric conduction phenomenon have been investigated. Since the characteristic peaks are detected at $509.45 [\text{cm}^{-1}]$ and $1273.6 [\text{cm}^{-1}]$ in the FT-IR spectrum, we are confirmed that the β -phase is dominant in the PVDF thin film. In the results of dielectric properties, the PVDF thin film shows anomalous dispersion, i.e. gradual decrease of dielectric constant with increase of frequency, and also that the dielectric absorption point changes from 200 Hz to 7000 Hz with increasing temperature of thin film, which is consistent with the Debye's theory. The activation energy (ΔH) obtained from temperature dependence of dielectric loss is 21.64 kcal/mole . We confirm that the electric conduction mechanism of PVDF thin film is dominated by ionic conduction by investigating the dependence of the leakage current of the thin film on the temperature and the electric field.

* 正會員, 麗水大學校 半導體·應用物理學科
(Dept. of Semiconductor and Applied Physics, Yosun National Univ.)

** 正會員, 仁荷大學校 電子材料工學科

(Dept. of Electronic Materials & Device Engineering, Inha Univ.)

※ 이 논문은 정보통신부의 출연금으로 수행한 1998 년도 대학기초연구지원사업의 연구결과입니다.

接受日字:1999年10月2日, 수정완료일:2000年3月23日

I. 서론

최근 전자산업 및 정보통신처리 기술의 발달로 기능성 재료 (functional material) 에 대한 관심이 급증하고 있다. 특히, 고분자 재료의 성형 및 합성기술이 발달하면서, 과거의 섬유재료나 구조재료로만 인식되어온 고분자 재료가 새로운 기능성 재료로 인식되고 있다. 고분자 재료는 무기재료에 비해 매우 우수한 가공성을 가지며 경량화 및 소형화가 가능하기 때문에 압전소자, 초음파 변환기, 초전형 적외선 센서, 표시소자 등의 다양한 분야에 응용하려는 연구가 활발히 진행되고 있다.^[1-2] 고분자는 보통 분자량이 약 10,000 이상의 것을 말하는데 분자 사이의 힘이 커져 실온 부근에서 고체 상태를 나타내지만, 그 분자 배열에 따라 다양한 분자 운동 형태 (mode) 를 지니고 있기 때문에 고분자 특유의 성질을 나타낸다.^[3] 다양한 고분자 재료 중에서 Poly(vinylidene fluoride) (PVDF, PVF2) 는 1969년 Kawai^[4] 가 고전계로 분극처리하여 우수한 압전특성을 보고한 이후, 여러 연구자들에 의해 우수한 전기적 특성들을 지니고 있음이 밝혀지면서 관심이 집중되고 있는 물질이다. PVDF 는 단량체 (monomer) $-CH_2-CF_2-$ 의 연쇄 구조로 이루어 졌으며 전기음성도가 큰 불소 (F : fluoride) 원자로 인하여 C-F 상호결합의 큰 극성을 나타내기 때문에 분극의 생성이 가능하다. PVDF 의 구조형태는 현재까지 TG₃G' (Trans-Gauche-Trans-Minus Gauche) 구조인 α 형 (Form I) 과 δ 형 (Form IV), TT (Trans-Trans) 구조인 β 형 (Form I), T₃GT₃G' 구조인 γ 형 (Form III) 인 4종의 구조가 발견되었으며, 이들의 특성은 분자 쇠 (molecular chain) 의 형태배열에 의해 나누어진다.^[5-6] 이들 PVDF 구조 중에서 가장 큰 초전 및 압전특성을 가지는 형은 β 형 구조이다. 이러한 β 형 PVDF 박막을 얻기 위해서는 α 형 PVDF 박막에 강한 전계를 인가하여 분극처리를 하거나 4배 이상의 연신처리를 행하는 방법이 사용되어 왔다.^[7] 그러나, 이와 같은 방법은 박막의 절연과피 및 공정시 장 시간이 소요되는 등의 단점이 있어 PVDF 박막의 응용에 많은 장애가 되어왔다. 이에 비해 진공 증착법 (PVD) 은 기존의 방법과는 다르게 대면적의 박막화가 가능하고 진공분위기의 공정에 의해 불순물의 오염이 적은 양질의 박막을 제작할 수 있으

며, 증착시 전계를 인가해주는 방식으로 분극처리나 연신공정과 같은 2 차적인 공정이 없이도 β 형 PVDF 박막을 제작할 수 있는 큰 장점을 가지고 있으나 이에 대한 연구는 국내외적으로 극히 드문 형편이다.

본 연구에서는 진공 증착법과 증착시 전계를 인가해주는 방법으로 β 형 PVDF 박막을 제작한 후, PVDF 박막의 유전특성과 전기전도에 관한 특성을 조사하여 향후 기능성 박막 소자로서의 응용가능성을 연구하였다.

II. 실험방법

본 연구에서는 진공 증착법으로 PVDF 박막을 제작하였으며, Fig. 1 에 진공 증착장비의 개략도를 나타내었다.

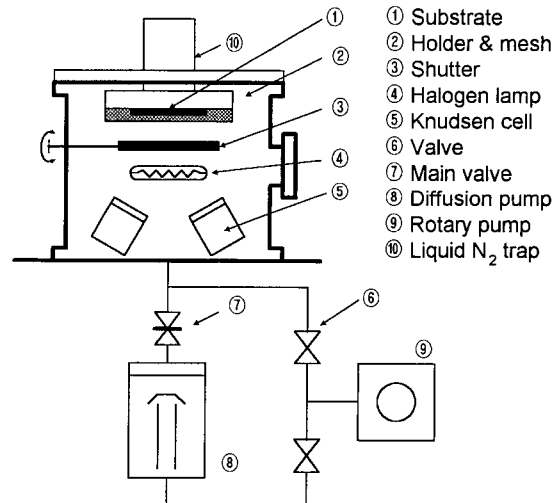


그림 1. PVDF 박막증착을 위한 진공증착 장비
Fig. 1. Schematic diagram of vapor deposition apparatus for PVDF thin film.

PVDF 박막을 제작하기 위해 pellet 형의 PVDF (Aldrich, 99.9%) 를 source 물질로 사용하였으며, 기판으로는 알루미늄을 증착한 슬라이드 글라스 (76mm×26mm) 와 단결정 KBr (Potassium Bromine) 을 사용하였다. 박막을 증착시키기 전의 초기진공도는 3×10^{-6} torr 이하로 유지시켰다. 기판온도와 K-cell 의 온도를 각각 80°C 와 270°C 로 유지시키고, 작업압력 (operating pressure) 이 1×10^{-5} torr 가 되었을 때 셔터를 열고 증착을 시작하였다. PVDF 박막의 증착조건

을 table 1 에 요약하여 나타내었다.

표 1. PVDF 박막의 증착조건
Table 1. Typical deposition conditions for PVDF thin film.

Source	PVDF (99.9%)
Substrate	Glass, KBr
Applied DC field to mesh	105 kV/cm
Base pressure	$\sim 3 \times 10^{-5}$ Torr
Operating pressure	$\sim 1 \times 10^{-5}$ Torr
Substrate temp.	80 °C
K-cell temp.	270 °C

진공 증착시, 기판과 평판형 망사 (mesh) 에 부전계 (negative field) 를 인가하면 기판에 정전계 (positive field) 가 유도되고 이에 따라 증발된 PVDF 분자에서 탄소 (C) 의 측쇄 (side chain) 에 결합하고 있는 전기 음성도가 큰 불소 (F) 가 강제적으로 기판 면에 부착된다. 따라서, 쌍극자 모멘트가 기판에 대해서 수평하게 배열하여 분자쇄 (molecular chain) 의 구조가 zig-zag 형태인 TT (Trans-Trans) 형으로 상전이를 하므로 β 형 PVDF 박막이 제작될 수 있다. 제작된 PVDF 박막의 두께는 $3\mu\text{m}$ 이었다.

제작된 PVDF 시료의 분자구조를 분석하기 위해 KBr 위에 박막을 제작한 후, 적외선 흡수 분광기 (FT-IR: Fourier Transform Infrared Spectra; Bio-rad Co., FTS-165)를 사용하여 적외선 흡수 스펙트라를 분석하였다. 한편, 유전 특성 및 전기적 특성을 측정하기 위해 슬라이드 글라스 위의 하부전극에 대해 상부전극을 교차시켜 제작하였다. 유전특성은 임피던스 분석기 (HP, 4192 LF) 와 항온조 (Ando, Thermostatic Oven, TO-19) 를 이용하여 측정하였다. 전기전도 특성은 항온조와 미소전류계(Keithley, Picoammeter, Model 487) 를 사용하였다. 유전특성과 전기전도도 측정시, 모든 데이터는 실험의 신뢰성을 높이기 위하여 GPIB Card (Keithley, KPC-488.2 AT)와 자료전송 케이블 (Keithley, Model 7007-1)을 이용하여 자동처리 하였다.

III. 결과 및 논의

FT-IR(적외선 흡수 분광기, Fourier Transform

Infrared Spectroscopy)은 고분자 재료의 분자구조를 확인하는데 사용되는 아주 중요한 방법의 하나이다. FT-IR 은 물질과 $1\sim 50\mu\text{m}$ 의 파장을 가진 전자기파와의 상호작용에 의해 분자속에 있는 원자들이 어떤 특정한 모드로 진동하게 되고, 이를 통하여 분자구조를 알아낸다.^[8] Fig. 2 는 FT-IR 를 통해 진공 증착법으로 제작한 PVDF 박막의 흡수분포를 나타낸 것이다.

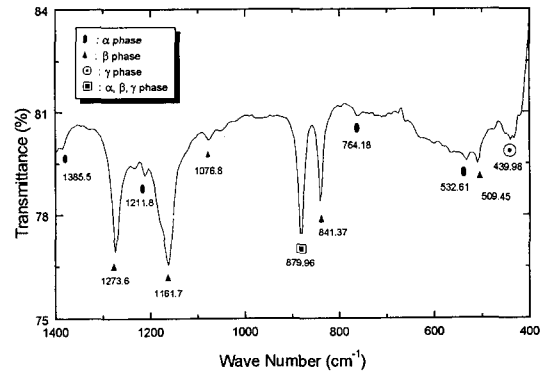


그림 2. PVDF 박막의 적외선 흡수 스펙트
Fig. 2. FT-IR spectrum of PVDF thin film.

일반적으로 PVDF는 단일상만으로 존재하는 것이 아니라 다상으로 존재한다고 보고되었으며 위 그림에서도 다상이 존재하는 기본 주파수를 가진 다양한 특성 피크를 관찰 할 수 있었다. 관찰된 피크를 보면 $532.61 [\text{cm}^{-1}]$, $879.96 [\text{cm}^{-1}]$, $1211.8 [\text{cm}^{-1}]$, $1385.5 [\text{cm}^{-1}]$ 인 α 형과 $509.45 [\text{cm}^{-1}]$, $841.37 [\text{cm}^{-1}]$, $1076.8 [\text{cm}^{-1}]$, $1161.7 [\text{cm}^{-1}]$, $1273.6 [\text{cm}^{-1}]$ 인 β 형

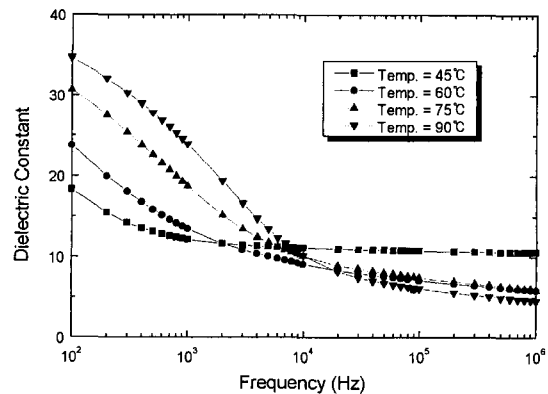


그림 3. 주파수와 온도에 따른 PVDF 박막의 비유전률

Fig. 3. Frequency and temperature dependences of dielectric constant of PVDF thin film.

그리고 α , β , γ 형을 모두 포함한 $879.96 \text{ [cm}^{-1}\text{]}$ 으로 분류 할 수 있다. 이렇게 혼재된 상을 구별하기 위해서 α 형의 특성 피크인 $530 \text{ [cm}^{-1}\text{]}$ 피크와 β 형의 $510 \text{ [cm}^{-1}\text{]}$ 피크를 비교하는 방법^[9]과 β 형의 고유한 $1273 \text{ [cm}^{-1}\text{]}$ 피크의 유·무로써 상을 구별하는 방법^[10]을 이용하여 분석 해보면, 본 연구에서 진공 증착법으로 제작된 PVDF 박막은 β 형의 결정구조를 가지고 있음을 알 수 있었다.

진공 증착법(PVD)을 이용하여 제조한 PVDF 박막의 기능성 박막 소자로서의 응용가능성을 관찰하기 위해서 전기적 특성 중에서 유전 특성에 관한 조사를 하였다. PVDF 박막의 유전특성은 $45\sim 90^\circ\text{C}$ 의 범위에서 임피던스 분석기(impedance analyzer)와 항온조(thermostatic oven)를 이용하여 측정하였다. Fig. 3 에 주파수와 온도에 따른 PVDF 박막의 비유전률을 나타내었다. Fig. 3 에서 보듯이, 주파수에 대한 PVDF 박막의 비유전률은 측정주파수의 증가에 따라 지속적으로 감소하는 것을 알 수 있다. 이러한 현상은 비유전률이 주파수의 증가에 따라 감소하는 현상인 이상분산(anomalous dispersion)으로 설명이 가능하다. 일반적으로 이상분산의 발생 원인은 전자분극 또는 원자분극의 경우에 비해 쌍극자 배향분극의 경우는 쌍극자가 주위의 매질이나 다른 쌍극자들로부터 속박을 받기 때문에 극성의 변화에 빨리 대응하지 못하고 발산하기 때문인 것으로 알려져 있다.^[11] 또, 온도에 대한 유전분산이 나타나는 원인은 PVDF 박막 내에 배열되어 있는 배좌의 내부 회전으로 인한 것으로 추정할 수 있고 측핵

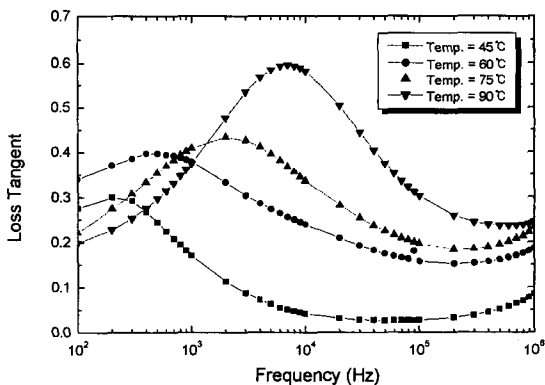


그림 4. 주파수와 온도에 따른 PVDF 박막의 유전손실

Fig. 4. Frequency and temperature dependences of loss tangent characteristics of PVDF thin film.

(side chain) 가 회전할 수 있는 시간을 충분히 갖지 못하기 때문에 고주파일수록 비유전률이 낮아지는 것으로 생각할 수 있다.

Fig. 4 에 주파수와 온도에 따른 유전손실을 나타내었다. PVDF 박막은 온도의 증가에 따라 200 Hz 에서 7000 Hz 으로 유전 흡수점이 이동함을 알 수 있다. 이를 디바이 이론 (Debye's theory) 으로 고찰해보면, 온도의 증가에 따라 쌍극자와 주변 매질과의 점성저항이 감소하여 영구 쌍극자의 유전 완화시간이 줄어들어 유전 흡수점이 고주파 쪽으로 이동한다고 생각된다. 이로부터, PVDF 박막은 디바이 이론에 잘 부합되는 유전 분산과 유전흡수의 형태를 지니고 있음을 알 수 있다.

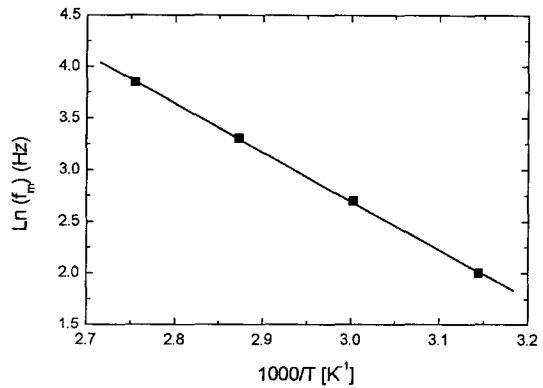


그림 5. 유전완화의 온도와 주파수의 관계.

Fig. 5. Frequency vs. reciprocal of absolute temperature for the dielectric relaxation.

유전손실이 최대가 되는 주파수 (f_m)와 측정온도 사이의 관계를 Fig. 5 에 나타내었다. Fig. 5 에서 보듯이, 유전손실이 최대가 되는 주파수는 측정온도가 증가할수록 고주파쪽으로 이동하는 경향을 나타내었다. 이와 같은 경향을 Eyring 의 완화과정을 적용하여, 온도의 존성의 손실원인이 되는 활성화 에너지 (ΔH)를 식 (1) 에 나타내었다.^[12]

$$f_m = A \exp\left(\frac{-\Delta H}{RT}\right) \tag{1}$$

여기서, R 은 기체상수이며 T 는 절대온도이다.

Fig. 5 에 나타낸 $\ln(f_m)$ 대 $1000/T$ 의 기울기로부터 구한 활성화 에너지는 약 21.64 kcal/mole 로 S. Yano^[13] 가 조사한 활성화 에너지 $21\sim 24 \text{ kcal/mole}$ 사이의 값이며 S. Uemura^[14] 가 구한 21.6 kcal/mole 와는 거의 동일한 값이다.

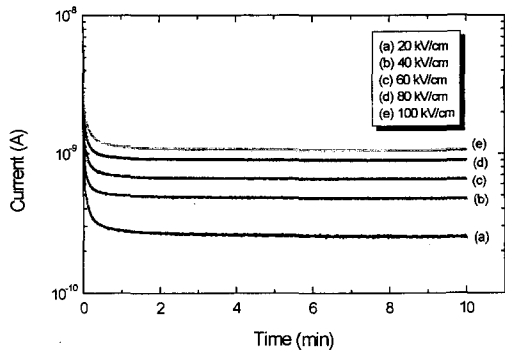


그림 6. 전계에 따른 전류의 시간 의존성
Fig. 6. Time dependence of a current with the electric field.

온도를 고정시키고 PVDF 박막에 직류 (DC) 전압을 인가하고, 시간의 경과에 따라서 나타나는 전류의 형태를 Fig. 6 에 나타내었다. 전류의 형태는 전자분극과 원자분극에 의해 순시적으로 흐르는 순시 충전전류와 배향분극과 계면분극에 의해 서서히 감소하는 흡수전류 및 그 다음에 일정한 누설전류로 크게 나눌 수 있다. 흡수전류는 인가전계의 증가에 따라 감소하는 현상을 보이고 있다. 이러한 현상이 나타나는 원인은 전계의 증가에 따라 누설전류의 크기가 흡수전류보다 아주 크기 때문에 야기되어진다. 앞에서 언급한 디바이 이론을 이용해 분석해보면, 전계의 증가에 따라 분극의 크기도 증가한다는 것을 알 수 있다. 이것은 인가 전계의 세기에 따라서 분극이 비례한다는 것을 의미한다. 따라서, 흡수전류는 배향분극의 크기에 영향을 받기 때문에, 측정 시 인가되는 전계의 증가로 인해 감소하는 현상을 나타내는 것으로 생각된다.

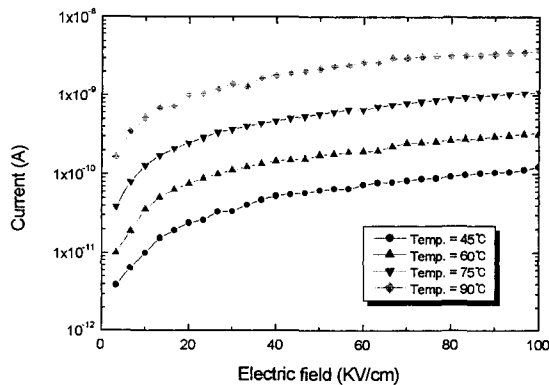


그림 7. 온도에 따른 전류의 전계 의존성
Fig. 7. Electric field dependence of current with the temperature.

Fig. 7 은 PVDF 박막의 누설전류를 나타낸 것이다. 누설전류는 전계의 크기에 따라 2 개의 영역으로 구분이 가능한데, 첫번째는 20 kV/cm 이하로 전계의 증가에 따라 전류가 선형적으로 변화하는 오옴성 영역이고, 두 번째는 전계의 증가에 따라 전류가 비선형적으로 증가하는 고전계 영역이다. Fig. 7 에서 보듯이, 온도가 증가함에 따라 고전계 영역이 낮은 전계에서부터 시작되는 것을 볼 수 있는데, 이는 온도의 증가에 따라 열적으로 활성화된 이온이 많아져서 전류가 증가하는 것이라고 생각된다.

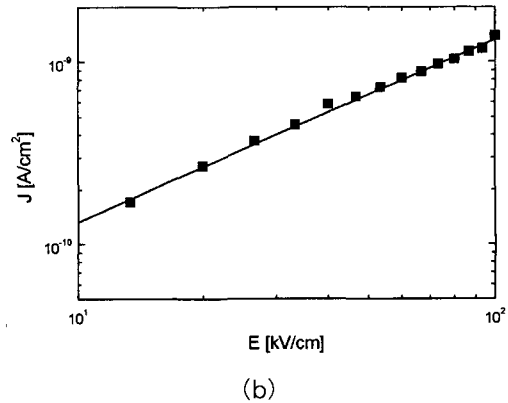
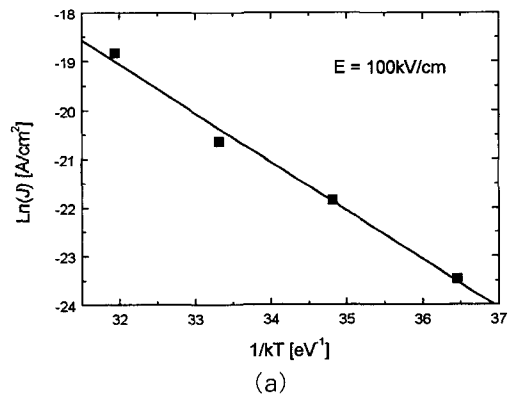


그림 8. 누설전류의 (a) 온도 의존성과 (b) 전계 의존성
Fig. 8. (a) Temperature dependence and (b) electric field dependence of the leakage current

Fig. 8 (a) 에 PVDF 박막의 누설전류밀도에 대한 온도의존성을 나타내었다. Fig. 8 (a) 에서 보듯이 누설전류 밀도 J 와 측정온도 T 의 관계는 다음식과 같다.

$$\ln J \propto -\frac{1}{kT} \quad (2)$$

식 (2)와 같은 온도 의존성을 나타내는 전도기구는 Schottky emission, Poole-Frenkel emission, ionic conduction과 같이 세가지가 있다.^[15] 이들 세가지 전도 기구중에서 PVDF 박막의 전도기구를 알아보기 위해 누설전류밀도의 전계의존성을 Fig. 8 (b)에 나타내었다. Fig. 8 (b)에서 보듯이 누설전류밀도와 인가전계는 식 (3) 를 만족하는 선형적인 특성을 나타내었다.

$$J \propto E \quad (3)$$

위에 언급한 세가지 전도기구중 이온전도만이 식 (3) 를 만족한다.^[15] 따라서, PVDF 박막의 전도기구는 이온 전도에 의한 것으로 볼 수 있다. 이는 M. Kosaki 등^[16] 과 S. Saito 등^[17]이 PVDF 박막의 전도기구를 연구한 결과와 일치한다.

IV. 결 론

본 논문에서는 진공 증착법 (PVD)과 전계인가법을 이용하여 PVDF 박막을 제작하였다. 제작된 PVDF 박막에 대해 적외선 흡수분석과 유전특성 및 전기전도 현상을 조사하였다. PVDF 박막을 적외선 흡수 분광기 (FT-IR) 로 흡수분포를 분석하여 β 형 PVDF 박막임을 확인하였다. β 형 PVDF 박막의 유전 특성을 조사한 결과, 비유전률은 주파수가 증가함에 따라 지속적으로 감소하는 이상분산을 나타내었다. 일반적으로 이상분산의 발생 원인은 전자분극 또는 원자분극의 경우와는 다르게 쌍극자 배향분극의 경우 쌍극자가 주위의 매질이나 다른 쌍극자들로부터 속박을 받기 때문에 극성의 변화에 빨리 대응하지 못하고 발산하기 때문에 나타나는 현상이다. 또한, 유전손실은 온도의 증가에 따라 200 Hz에서 7000 Hz로 유전 흡수점이 이동함을 알 수 있다. 이는 온도의 증가에 따라 쌍극자와 주변 매질과의 점성 저항이 감소하여 영구 쌍극자의 유전 완화 시간(dielectric relaxation time)이 감소하므로서 유전 흡수점이 고주파 쪽으로 이동한다는 디바이 이론과 잘 일치하였다. 유전손실이 최대가 되는 주파수와 측정온도의 관계로부터 구한 온도 의존성의 손실원인이 되는 활성화 에너지는 약 21.64 kcal/mole 로 조사되었다. β 형 PVDF 박막의 전류의 시간의존성을 조사한 결과, 시간의 경과에 따라 나타나는 전류중에서 흡수전류는 전계의 증가에 따라 감소하는 현상을 나타내었으며 디

바이 이론으로 고찰해보면 분극은 전계의 크기에 비례하므로 쌍극자 배향분극에 영향을 받는 흡수전류는 인가 전계의 증가에 따라 감소함을 알 수 있었다. β 형 PVDF 박막의 누설전류밀도에 대한 온도 의존성과 전계 의존성을 조사하여 PVDF 박막의 전기전도기구가 이온 전도임을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] S. Hurmila, H. Stubb, J. Pittanen, K. Landenpera and A. Penttinen, "Ultrasonic Transducer using PVDF", *Ferroelectrics*, vol. 115, pp. 267~278, 1991.
- [2] G. M. Sessler, *Electrets*, Springer-Verlag, Berlin, pp. 347~376, 1980.
- [3] H. S. Nalwa, *Ferroelectric Polymers-Chemistry, Physics, and Applications*, Marcel Dekka, Inc., New York, chap. 2, 1995.
- [4] H. Kawai, "The Piezoelectricity of Poly(vinylidene fluoride)", *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 8, pp. 975~976, 1969.
- [5] M. A. Bachmann, W. L. Gordon, J. L. Koenig and J. B. Lando, "An Infrared Study of Phase-III Poly(vinylidene fluoride)", *J. Appl. Phys.*, vol. 50, pp. 6106~6112, 1979.
- [6] T. T. Wang and J. E. West, "Polarization of Poly(vinylidene fluoride) by application of breakdown fields", *J. Appl. Phys.*, vol. 53, pp. 6552~6556, 1982.
- [7] G. T. Davis, J. E. Mckinney, M. G. Broadhurst and S. C. Roth, "Electric-Field- Induced Phase Changes in Poly(vinylidene fluoride)", *J. Appl. Phys.*, vol. 49, pp. 4998~5002, 1978.
- [8] J. C. Vickerman, *Surface Analysis-The Principal Techniques*, John Wiley & Sons Ltd, England, pp. 268~280, 1997.
- [9] K. T. Chung, B. A. Newman, J. I. Scheinbeim and K. D. Pae, "The Pressure and Temperature dependence of Piezoelectric and Pyroelectric Response of Poled Unoriented Phase I Poly(vinylidene fluoride)", *J. Appl. Phys.*, vol.

53, pp. 6557~6562, 1982.

[10] H. von Seggern and T. T. Wang, "Polarization Behavior and High Field Poling of Poly(vinylidene fluoride)", *J. Appl. Phys.*, vol. 56, pp. 2448~2452, 1984.

[11] W. D. Kingery, H. K. Bowen, D. R. Uhlmann, *Introduction to Ceramics-2nd Ed.*, John Wiley & Sons, Inc., New York, chap. 18, 1976.

[12] K. J. Laidler and H. Eyring, *The Theory of Rate Process*, McGraw-Hill, Inc., New York and London, chap. 9, 1941.

[13] S. Yano, "Dielectric Relaxation and Molecular Motion in Poly(vinylidene fluoride)", *J. Polymer Science* (part A-2), vol. 8, pp. 1057~1072, 1970.

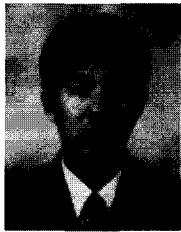
[14] S. Uemura, "Ionic Contribution to the Complex Dielectric Constant of a Polymer under dc Bias", *J. Polymer Science (Polymer Physics Edition)*, vol. 10, pp. 2155~2166, 1972.

[15] M. Ohring, *The Materials Science of Thin Films*, Academic Press, Inc., Boston, pp. 464~470, 1992.

[16] M. Kosaki, H. Oshima and M. Ieda, *J. Phys. Soc. Jpn.*, vol. 29, pp. 1012, 1970.

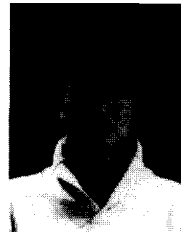
[17] S. Saito, H. Sasabe, T. Nakajima and K. Yada, *J. Polymer Science*, vol. A-26, pp. 1297, 1968.

저 자 소 개



姜 聲 俊(正會員)

1965년 7월 10일생. 1989년 2월, 인하대학교 응용물리학과 졸업 (B.S). 1994년 8월, 인하대학교 전자재료공학과 졸업 (M.S.). 1999년 2월, 인하대학교 전자재료공학과 졸업 (Ph. D.). 1999년 3월~2000년 1월 인하대학교 전자재료공학과 연구원 (Post Doc.) 2000년 2월~현재, 국립여수대학교 반도체·응용물리학과 전임강사. 주관심분야 : DRAM 및 NVFRAM 응용을 위한 강유전체 박막, Pyroelectric 센서



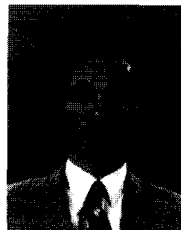
李 原 在(正會員)

1969년 7월 9일생. 1998년 2월, 인하대학교 전자재료공학과 졸업 (B. S). 1998년 2월~현재, 인하대학교 전자재료공학과 석사과정. 주관심분야 : 강유전체 박막을 이용한 초전센서 및 기능성 고분자 박막.



張 東 勳(正會員)

1971년 3월 13일생. 1995년 2월, 수원대학교 전자재료공학과 졸업 (B.S.). 1997년 8월, 인하대학교 전자재료공학과 졸업 (M.S.). 1997년 9월~현재, 인하대학교 전자재료공학과 박사과정. 주관심분야 : DRAM 및 NVFRAM 응용을 위한 강유전체 박막 및 기능성 고분자 박막



尹 英 燮(正會員)

1952년 9월 7일생. 1975년 2월, 서울대학교 금속공학과 졸업 (B.S). 1977년 2월, 한국과학기술원 재료공학과 졸업 (M.S). 1988년 12월, U.S.C. 전자공학과 졸업 (Ph.D). 1987년 3월~1988년 5월, Oklahoma State University 대우교수. 1988년 12월~1989년 6월, UCLA Device Research Lab. 연구원. 1989년 8월~1992년 2월, 삼성전자 기흥반도체연구소 수석연구원. 1992년 3월~1996년 3월, 인하대학교 전자재료공학과 부교수. 1996년 4월~현재, 인하대학교 전자재료공학과 부교수. 주관심분야 : ULSI DRAM을 위한 신물질 개발, 강유전성 박막, Pyroelectric 센서, SAW Device