

論文2003-40SD-8-5

진공증착법으로 제작한 PVDF 박막의 증착 조건에 따른 특성변화에 관한 연구

(A Study on the Properties of the PVDF Thin Film Prepared by Vacuum Deposition with Varying the Deposition Condition)

張 東 勳 * , 姜 聲 俊 ** , 尹 英 燮 ***

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

요 약

본 연구에서는 전압을 인가하는 진공 증착법으로 PVDF 박막을 제작하였으며, PVDF 박막들의 적외선 흡수 분포, 결정화 특성을 분석한 결과, 조건에 따른 표면 형상 등의 분석을 기초로 하여 β 상을 가지는 PVDF 박막의 증착을 위한 조건을 구하였다. 적외선 흡수 분포를 통하여 제작된 PVDF 박막의 상을 조사하였으며, 기판 온도와 인가 전압이 각각 30℃ 에서 90℃ 로, 0kV 에서 9kV 로 증가하면서 64% 이상의 β 결정화 특성을 나타내었는데 이는 기판온도와 인가 전압의 증가에 따라 β 상으로의 상변이가 더 용이하게 이루어질 수 있음을 의미하는 것이다. 한편, 기판 온도가 증가함에 따라서 제작된 PVDF 박막의 표면 거칠기는 65.1nm 에서 36.6nm 로 감소하는 특성을 나타내었다. 이러한 결과들을 기초로 β 형 PVDF 박막을 위한 최적 증착조건을 구하였으며, 이 최적 증착조건을 이용하여 PVDF 박막을 제작하여 유전특성을 측정된 결과, 비유전률과 유전손실은 주파수가 증가함에 따라 각각 2.34 에서 0.44 로, 0.27 에서 0.04 로 감소하였다.

Abstract

We prepare the PVDF thin film using vacuum deposition method with the application of voltage and obtain the optimum deposition condition for β -PVDF thin film on the basis of the results of FT-IR, crystallinity of β phase, surface roughness studies with varying the condition. The phase of PVDF thin film is analyzed by the FT-IR spectrum. When the substrate temperature and applied voltage increase from 30℃ to 90℃ and from 0kV to 9kV, respectively, the crystallinity of β phase is introduced as large as 64%. It means that the substrate temperature and applied voltage allow the phase transition of β phase to occur more easily. Also, the surface roughness of PVDF thin film decreases from 65.1nm to 36.6nm with the increase of substrate temperature. In results, we obtain the optimum deposition conditions for β -PVDF thin film from these experimental results and measure the properties of the β -PVDF film deposited in the optimum condition. The dielectric properties such as dielectric constant and loss tangent decrease from 2.34 to 0.44 and from 0.27 to 0.04 with the increase of frequency, respectively.

Keyword : PVDF, 진공증착, 전계인가, β phase

* 正會員, 仁荷大學校 電子材料工學科

(School of Electronic & Electrical Engineering, Inha Univ.)

** 正會員, 麗水大學校 半導體·應用物理學科

(Dept. of Semiconductor and Applied Physics, Yosu National Univ.)

*** 正會員, 仁荷大學校 電子電氣工學部

(School of Electronic & Electrical Engineering, Inha Univ.)

※ 이 논문은 2003학년도 인하대학교의 지원에 의하여 연구되었음. (INHA-30271)

接受日字:2002年9月18日, 수정완료일:2003年7月31日

I. 서론

최근 고분자 화학의 급속한 진보와 고분자 성형 기술의 발달로 도전성, 압전성, 초전성 등을 가진 기능성 고분자 재료에 대한 관심이 급증하고 있다. 특히, 과거의 섬유재료나 구조재료로만 인식되어온 고분자 재료가 새로운 전기적 기능성 재료로 인식되고 있다. 고분자 재료는 성형 기술의 발달로 유연성, 경량성 및 가공성이 우수한 특성을 가지므로 압전소자, 초음파 변환기, 초전형 적외선 센서, 표시소자 등의 다양한 분야에 응용하려는 연구가 활발히 진행되고 있다^[1-3]. 다양한 고분자 재료 중에서 Poly(vinylidene fluoride) (PVDF, PVF₂)는 고전계를 이용한 분극처리에 의하여 우수한 압전특성을 나타내는 것이 보고된 이래로^[3] 여러 연구자들에 의해 우수한 전기적 특성들을 지니고 있음이 밝혀지면서 관심이 집중되고 있는 물질이다.

PVDF의 구조형태는 현재까지 TGIG' (Trans-Gauche-Trans-Minus Gauche) 구조인 α 형과 δ 형, TT (Trans-Trans) 구조인 β 형, T₃GT₃G' 구조인 ν 형인 4종의 구조가 발견되었으며, 이들의 특성은 분자쇄 (molecular chain)의 형태배열에 의해 나누어진다^[4,5]. α 형 결정은 쌍극자가 반대방향으로 배열되어 자발분극을 가지지 않으며, β , ν , δ 형 결정은 결정중에 자발분극을 가짐으로서 압전 및 초전특성을 나타낸다. 특히, PVDF 구조 중에서 가장 큰 초전 및 압전특성을 가지는 형은 β 형 구조이다. 그 동안 β 형 PVDF 박막을 얻기 위해서는 일반적으로 α 형 PVDF 박막에 강한 전계를 인가하여 분극처리를 하거나 4배 이상의 연신처리를 행하는 방법이 사용되어 왔다^[6-8]. 그러나, 이와 같은 방법은 박막의 절연파괴 및 공정시 장시간이 소요되는 등의 단점이 있어 PVDF 박막의 응용에 많은 장애가 되어왔다^[9].

이에 본 연구에서는 진공증착법을 사용하여, 증착과정 중에 고전압을 인가하여 β 형 PVDF 박막의 제작을 시도함으로써 종래의 제조방법으로 사용되고 있는 습식 코팅법이나 성형-압출방법에서 발생되는 단점을 보완하였다. 또, 진공상태에서 PVDF 박막을 직접 제작하므로써 향후 공정의 일괄화 및 박막화도 가능하리라고 생각된다. 이를 위하여 본 연구에서는 박막증착시 인가전압의 변화 및 기판온도 등의 제어를 통하여 분자배향을 시도하였으며 분자구조 형태의 변화에 따른 표면

구조 및 유전특성을 조사하여 향후 기능성 박막 소자로서의 응용가능성을 연구하였다.

II. 실험방법

본 연구에서는 진공 증착법으로 PVDF 박막을 제작하였으며, <그림 1>에 진공 증착장비의 개략도를 나타내었다.

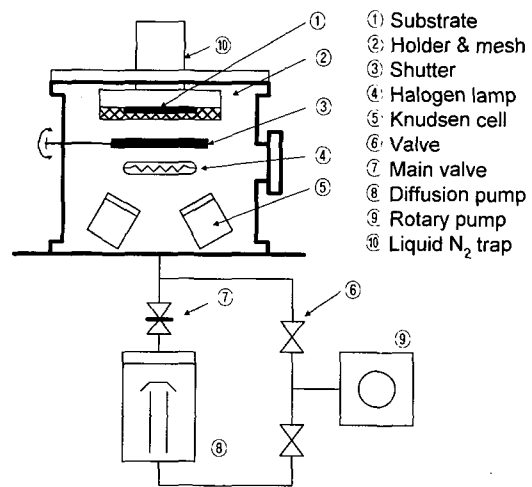


그림 1. PVDF 박막증착을 위한 진공증착 장비
Fig. 1. Schematic diagram of vacuum deposition apparatus for PVDF thin film.

표 1. PVDF 박막의 증착 조건

Table 1. Typical deposition conditions for PVDF thin film.

Source	PVDF (99.9%)
Substrate	Glass, KBr
Applied DC voltage to mesh	0~9 kV
Base pressure	$\sim 5 \times 10^{-6}$ Torr
Operating pressure	$\sim 1 \times 10^{-5}$ Torr
Substrate temp.	30~120 °C
K-cell temp.	300 °C

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 5×10^{-6} torr 이하로 유지시키고, 작업압력 (operating pressure)

이 1×10^5 torr 가 되었을 때 증착을 시작하였다. PVDF 박막의 증착에 이용된 조건들을 <표 1> 에 요약하여 나타내었다.

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 수직하게 배열하여 분자쇄 (molecular chain) 의 구조가 zig-zag 형태인 TT (Trans-Trans) 형으로 상전이를 하므로 β 형 PVDF 박막이 제작될 수 있다.

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 스펙트리를 분석하였다. 또, 원자간력 현미경 (AFM, Topometrix 사) 을 이용하여 제작된 박막의 표면 거칠기를 조사하였으며, 슬라이드 글라스 위의 하부전극에 대해 상부전극을 교차시켜 제작하고 LCR 미터 (Agilent 사, 4284A) 를 이용하여 유전특성을 측정하였다.

III. 결과 및 논의

본 연구에서는 전계인가법을 적용한 진공 증착법으로 PVDF 박막을 제작하였다. 제작된 PVDF 박막의 분자구조를 조사하기 위하여 FT-IR 을 이용하였다. FT-IR (적외선 흡수 분광기, Fourier Transform Infrared Spectroscopy) 은 고분자 재료의 분자구조를 확인하는데 사용되는 유용한 방법중의 하나로써, 물질과 1~50 μm 의 파장을 가진 전자기파와의 상호작용에 의해 분자 속에 있는 원자들이 어떤 특정한 모드로 진동하게 되고, 이를 통하여 분자구조를 알아내는 방법이다^[10].

<그림 2>는 발열원의 온도를 300°C 로 고정시키고 기판 온도를 변화시켜 KBr 디스크 위에 증착한 PVDF 의 적외선 흡수분포를 나타낸 것이다. 일반적으로 PVDF 는 단일상만으로 존재하는 것이 아니라 다상으로 존재한다고 보고되고 있으며^[11], 위 그림에서도 다상이 존재하는 기본 주파수를 가진 다양한 특성 피크를 관찰할 수 있다. 관찰된 피크를 보면 530 [cm⁻¹], 880 [cm⁻¹], 1211 [cm⁻¹], 1382 [cm⁻¹] 인 α 형과 510 [cm⁻¹], 841 [cm⁻¹], 1273 [cm⁻¹] 인 β 형 그리고 α ,

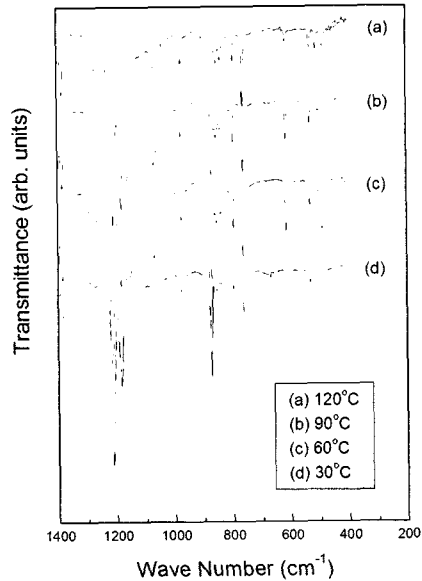


그림 2. 기판온도 변화에 따른 PVDF 박막의 적외선 흡수 스펙트럼

Fig. 2. FT-IR spectrum of PVDF thin film with various substrate temperatures.

β , γ 형을 모두 포함한 880 [cm⁻¹] 으로 분류 할 수 있다. 이와 같이, 기판온도에 따라 그 흡수의 강도는 다르지만 α , β , γ 상이 모두 존재하는 것을 확인 할 수 있었다. 기판온도가 상온인 30°C 의 경우, 대체적으로 모든 흡수 강도가 상대적으로 다른 기판온도에 비해 작게 나타났으며, 일부 β 상에 대한 흡수피크가 나타났으나 대체적으로 α 상이 우세하게 나타났다. 90°C 까지 β 상에 대하여 큰 흡수피크의 변화는 나타나지 않았으나, 120°C 로 기판온도를 상승시킨 경우에 β 상을 나타내는 510 [cm⁻¹], 1273 [cm⁻¹] 의 주요 흡수 피크가 나타났으며, 이는 β 상이 다른 상들에 비해 우세하게 나타남을 의미하는 것이다.

진공증착법으로 PVDF 박막을 제작할 때, 기판과 금속망 사이에 전압을 인가하여 기판에 정전계를 유도시킴으로써 증착과 동시에 기판에 대하여 PVDF 의 쌍극자가 수직배향 되도록 하였다. <그림 3>은 진공증착시 발열원의 온도를 300°C, 기판 온도를 120°C 로 유지시키고 0~9kV 의 전압을 인가하여 제작한 PVDF 박막의 적외선 흡수 분포를 나타낸 것이다. 전압을 인가하지 않은 경우에는 적외선 흡수 강도가 작게 나타났으며, 인가 전압이 증가하면서 α 상을 나타내는 615 [cm⁻¹], 1070 [cm⁻¹] 피크가 감소하는 것을 알 수 있었다. 특히, β 상에서만 나타나는 1273 [cm⁻¹] 피크가 인

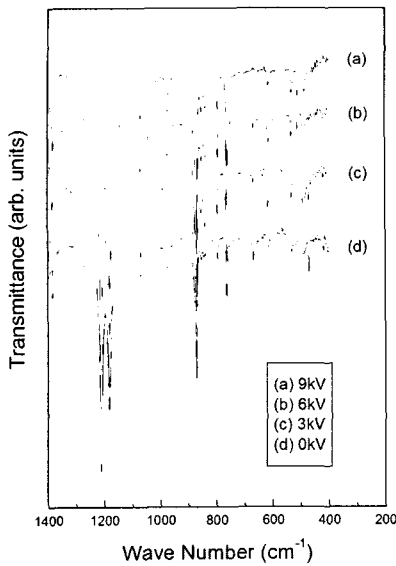


그림 3. 전압인가에 따른 PVDF 박막의 적외선 흡수 스펙트럼
 Fig. 3. FT-IR spectrum of PVDF thin film with various applied voltages.

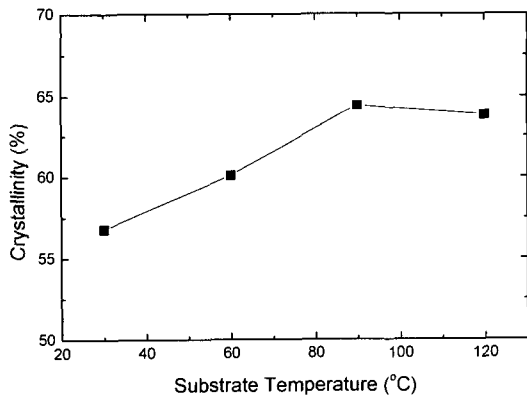


그림 4. 기판온도에 따른 PVDF 박막의 결정화 특성
 Fig. 4. Crystallinity of the PVDF thin film with the substrate temperatures.

가 전압이 증가함에 따라 커지는 것을 볼 수 있는데, 이로부터 인가된 전압이 β 상의 형성에 큰 영향을 미침을 알 수 있다.

기판온도와 인가전압에 따른 PVDF 박막의 적외선 흡수 분포로부터 진공증착된 PVDF 박막은 α , β , γ 형의 다양한 상으로 존재하고 있다는 것을 알 수 있다. PVDF 박막의 분자구조에 따른 상을 정량적으로 분석하기 위해서, 본 연구에서는 α 형의 특성 피크인 $530\text{ [cm}^{-1}\text{]}$ 피크와 β 형의 $510\text{ [cm}^{-1}\text{]}$ 피크를 비교하는 방

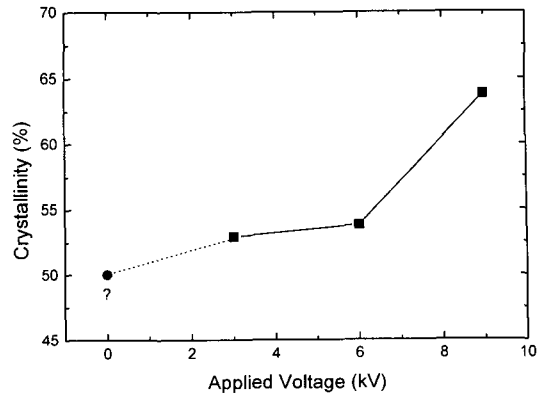


그림 5. 인가전압에 따른 PVDF 박막의 결정화 특성
 Fig. 5. Crystallinity of the PVDF thin film with the applied voltages.

법^[12]과 β 형의 고유한 $1273\text{ [cm}^{-1}\text{]}$ 피크의 유·무로써 상을 구별하는 방법^[13]을 이용하였다. β 형 결정의 정량적인 함유 비율은 다음과 같은 식으로 구하였다.

$$f(\beta) = \frac{I_{510}}{0.81I_{530} + I_{510}} \times 100 \text{ [%]} \quad (1)$$

여기서, I_{510} 과 I_{530} 은 각각 기준점 (base line) 에서 $510\text{ [cm}^{-1}\text{]}$ 과 $530\text{ [cm}^{-1}\text{]}$ 까지의 피크 강도이다.

<그림 4>는 기판온도에 따른 PVDF 박막의 β 형 결정화 정도를 나타낸 것이다. 상온에서 증착된 PVDF 박막의 결정화도는 56.8% 로 낮았으나 기판 온도가 증가하면서 90°C 이상에서 64% 이상의 결정화도를 나타내었다. 이는 높은 기판온도에서 증착되는 PVDF 분자들이 기판 표면에서 충분히 이동하면서 β 상을 형성하는 것으로 생각 할 수 있다. 즉, 기판온도의 증가에 따라 β 상으로의 상전이가 더 활발히 일어나고 있음을 나타내어 주는 결과라고 할 수 있다. 본 연구에서는 기판 온도 외에도 PVDF 박막의 결정화에 영향을 미치는 다른 요소로 인가전압을 고려하였다. 인가전압은 증착과 동시에 결정 형성에 영향을 미치는 요소이므로 인가전압에 따른 PVDF 박막의 결정화 특성을 <그림 5>에 나타내었다. 전압을 인가하지 않은 경우에는 $510\text{ [cm}^{-1}\text{]}$ 피크와 $530\text{ [cm}^{-1}\text{]}$ 피크의 상대비교를 할 수 없었으나 <그림 3>에서의 $1273\text{ [cm}^{-1}\text{]}$ 피크의 상대적인 크기를 고려하였을 때 전압을 인가한 경우보다 β 상의 결정화 정도가 낮을 것으로 생각된다. 3~6kV 로 전압을 인가한 경우에는 53~54% 정도의 결정화 정도를 나타내었으며 9kV 까지 전압을 증가시킨 경우에는

약 64% 까지 증가하였다. 이것은 기판온도와 같이 인가전압을 증가시키면 PVDF 박막의 β 형으로 상전이 가 더 용이하게 이루어질 수 있음을 의미하는 것이다. 그러나, 인가전압의 크기에 따라 결정화도가 증가하는 것을 고려하였을 때 9kV 이상의 전압에 대한 결정화도를 조사할 필요가 있으나 현재 구성되어 있는 진공증착 장비로서는 한계가 있어 조사할 수 없었다.

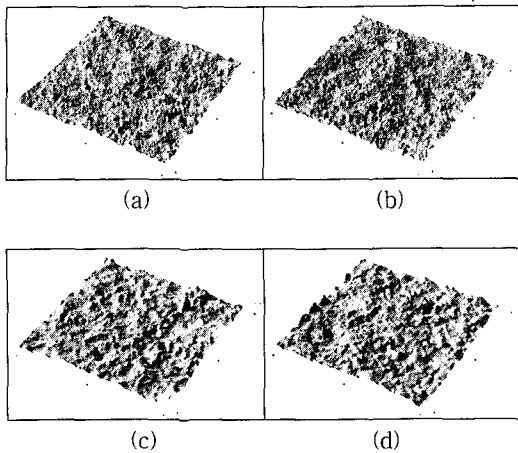


그림 6. 기판 온도에 따른 PVDF 박막의 3차원 표면 사진 : (a) 30°C, (b) 60°C, (c) 90°C, (d) 120°C
Fig. 6. 3-D images of PVDF thin film with substrate temperatures : (a) 30°C, (b) 60°C, (c) 90°C, (d) 120°C.

원자간력 현미경 (AFM) 은 물질의 표면 미세조직, 분자배향 등을 시각화하여 분석하는데 중요한 정보를 제공하는 방법이다. 특히, 표면 거칠기 (surface roughness) 등을 수치적으로 나타내어 주므로 유기 박막의 표면 형상에 대한 정보를 제공한다^[10, 14]. <그림 6>은 기판 온도에 따른 PVDF 박막의 표면형상을 나타낸 것이다. <그림 6>에서 보듯이, 기판 온도가 증가함에 따라 작은 미세구조들이 증가하여 90°C 이상에서 큰 분역들을 형성하고 있음을 알 수 있다. 유기 박막의 성장 기구중 재배열 과정은 부착분자가 기판상에서 운동을 하면서 응집해 가는 것으로 규칙적인 배열에 의한 결정성 유기박막을 형성하는 과정으로써, 기판상에서 표면 확산에 의한 클러스터 형성, 결정의 임계핵 형성, 결정 성장 등이 고려된다. 기판에 부착된 분자쇄들은 기판상에서 응집해가면서 기판 온도 및 인가 전압 등에 의해 결정성에 영향을 받게 되는 것이다.

원자간력 현미경으로 측정된 PVDF 박막의 기판 온

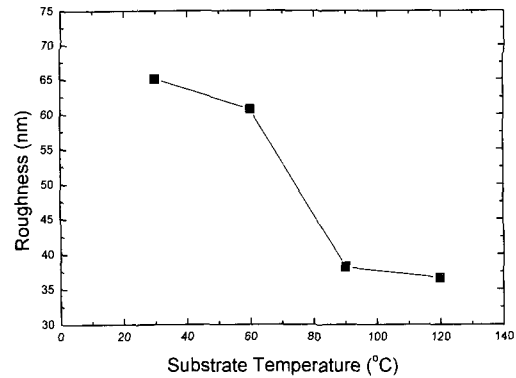


그림 7. 기판 온도에 따른 PVDF 박막의 표면 거칠기
Fig. 7. Surface roughness of PVDF thin film with substrate temperatures.

도에 따른 표면 거칠기를 <그림 7>에 나타내었다. 30°C 에서 120°C 로 기판 온도가 증가함에 따라서 제작된 PVDF 박막의 표면 거칠기는 65.1nm 에서 36.6nm 로 감소하였다. 3차원 AFM 사진에서 볼 수 있듯이, 90°C 이상에서는 표면 거칠기가 38nm 이하로 나타났다. 이와 같은 결과는 기판에 부착된 분자들이 기판 온도가 증가함에 따라 재배향 되기 쉬워지므로 분역들이 증가하고 그에 따라 표면 거칠기가 감소한 것으로 생각된다.

이와 같이, 본 연구에서 진공 증착법으로 제작된 PVDF 박막의 적외선 흡수 분포, 결정화 특성을 분석한 결과, 조건에 따른 표면 형상 등의 분석을 기초로 하여 β 상을 가지는 PVDF 박막의 증착을 위한 조건을 <표 2> 에 정리하였다.

표 2. β 형 PVDF 박막의 증착 조건
Table 2. Deposition conditions for PVDF thin film having β phase.

Applied DC voltage to mesh	9 kV
Base pressure	$\sim 5 \times 10^{-4}$ Torr
Operating pressure	$\sim 1 \times 10^{-3}$ Torr
Substrate temp.	120 °C
K-cell temp.	300 °C

<표 2> 의 증착 조건을 이용하여 β 상을 가지는 PVDF 박막을 제작하였으며, LCR 미터를 이용하여 유전특성을 측정하였다. <그림 8>은 β 형 PVDF 박막의 유전 특성을 나타낸 것이다. 주파수에 따라 PVDF 박막의 비유전률 특성을 측정한 경우 측정 주파수의

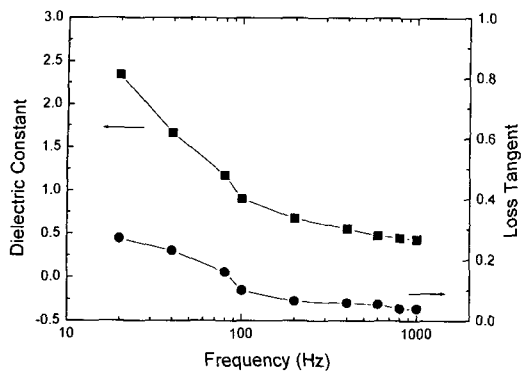


그림 8. PVDF 박막의 비유전률과 유전손실

Fig. 8. Dielectric constant and loss tangent of the PVDF thin film.

증가에 따라 PVDF 박막의 비유전률과 유전손실 값이 각각 2.34 에서 0.44 로, 0.27 에서 0.04 로 감소하였다. 이는 이상 분산 (anomalous dispersion) 의 형태로 분산이 일어나기 때문이다. 전자 분극 또는 원자 분극의 경우 전원의 극성 변화가 빠르게 변할 지라도 그 변화에 충분히 대응할 수 있지만, 쌍극자 배향 분극의 경우에는 쌍극자가 주위의 매질이나 다른 쌍극자들로부터 속박을 받기 때문에 극성의 변화에 빨리 대응하지 못하여 분산이 일어나게 된다^[15].

IV. 결 론

본 연구에서는 전계인가법을 적용한 진공 증착법으로 PVDF 박막을 제작하였다. 제작된 박막의 분자구조를 분석하기 위해 적외선 흡수 분포를 조사하였다. 기판온도와 0~9kV 의 인가 전압에 따른 PVDF 박막의 적외선 흡수 분포를 조사하였다. 그 흡수의 강도는 다르지만 α , β , γ 상이 모두 존재하는 것을 확인 할 수 있었으며, 기판온도와 인가전압이 PVDF 박막의 β 상 형성에 큰 영향을 미침을 알 수 있었다. 또한, 본 연구에서는 α 형의 특성 피크인 530 [cm^{-1}] 피크와 β 형의 510 [cm^{-1}] 피크를 비교하여 PVDF 박막의 β 형 결정의 정량적인 함유 비율을 조사하였다. 기판 온도가 증가하면서 90°C 이상에서 64% 이상의 결정화도를 나타내었는데, 이는 기판온도의 증가에 따라 β 상으로의 상전이가 더 활발히 일어나고 있음을 나타내어 주는 결과라고 할 수 있다. 기판 온도 외에도 PVDF 박막의 결정화에 영향을 미치는 다른 요소로 인가전압을 고려하였다. 3~6kV 로 전압을 인가한 경우에는 53~54%

정도의 결정화 정도를 나타내었으며 9kV 까지 전압을 증가시킨 경우에는 약 64% 까지 증가하였다. 이것은 기판온도와 마찬가지로 인가전압을 증가시키면 PVDF 박막의 β 형으로 상전이가 더 용이하게 이루어질 수 있음을 의미하는 것이다. 기판 온도가 증가함에 따라서 제작된 PVDF 박막의 표면 거칠기는 65.1nm 에서 36.6nm 로 감소하였는데, 기판에 부착된 분자들이 기판 온도가 저온보다 고온일수록 보다 재배향 되기 쉬워지므로 분자들이 증가하고 그에 따라 표면 거칠기가 감소한 것으로 생각된다.

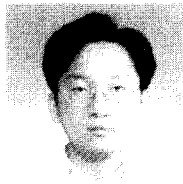
본 연구에서 진공 증착법으로 제작된 PVDF 박막들의 적외선 흡수 분포, 결정화 특성을 분석한 결과, 조건에 따른 표면 형상 등의 분석을 기초로 하여 β 상을 가지는 PVDF 박막의 증착을 위한 조건을 구하였다. 이 증착 조건을 이용하여 β 상을 가지는 PVDF 박막을 제작하여 유전특성을 측정하였으며, 일반적인 고분자 박막과 같이 이상분산에 의한 비유전률의 감소를 확인할 수 있었다.

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] H. Kawai, "The Piezoelectricity of Poly (vinylidene fluoride)", *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 8, pp. 975~976, 1969.
- [3] G. M. Sessler, *Electrets*, Springer-Verlag, Berlin, pp. 347~376, 1980.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 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.

- [7] W. M. Prest and D. J. Luca, "The Formation of the γ Phase from the α and β Polymorphs of Polyvinylidene Fluoride", J. App. Phys., vol. 49, no. 10, pp. 5042~5049, 1978.
- [8] K. Tashiro and M. Kobayashi, "Structure and Piezoelectricity of Poly(vinylidene fluoride)", Ferroelectrics, vol. 32, pp. 167~175, 1981.
- [9] 丸山 統雄, "機能性高分子 エレクトレット(とくに PVD系) の 新しい電界", 靜電氣學會誌, vol. 11, no. 6, pp. 422~439, 1987.
- [10] J. C. Vickerman, Surface Analysis-The Principal Techniques, John Wiley & Sons Ltd, England, pp. 268~280, 1997.
- [11] D. Stetiadi, H. Weller and T. D. Binnie, "A Pyroelectric Polymer Infrared Sensor Array with a Charge Amplifier Readout", Sensors and Actuators A, vol. 76, pp. 145~151, 1999.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] S. Kawada, "Dielectric Anisotropy in Ice Ih", Jpn. J. Phys. Soc., vol. 44, no. 6, pp. 1881~1889, 1978.
- [15] W. D. Kingery, H. K. Bowen, D. R. Uhlmann, Introduction to Ceramics-2nd Ed., John Wiley & Sons, Inc., New York, chap. 18, 1976.

저 자 소 개



張 東 勳(正會員)

1995년 2월 : 수원대학교 전자재료 공학과 졸업(B.S.). 1997년 8월 : 인하대학교 전자재료공학과 졸업(M.S.). 2003년 2월 : 인하대학교 전자재료공학과 졸업(Ph.D.). 2003년 3월~현재 : 인하대학교 반도체

및 박막기술 연구소 연구원(Post Doc). <주관심분야 : DRAM 및 NVFRAM 응용을 위한 강유전체 박막 및 기능성 고분자 박막, Pyroelectric 센서>

尹 英 燮(正會員) 第37卷 SD編 第6號 參照

1975년 2월 : 서울대학교 금속공학과 졸업(B.S.). 1977년 2월 : 한국과학원 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~현재 : 인하대학교 전자전기컴퓨터공학부 교수. <주관심분야 : ULSI DRAM 을 위한 신물질 개발, 강유전성 박막, Pyroelectric 센서, SAW Device>

姜 聲 俊(正會員) 第38卷 SD編 第8號 參照

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 조교수. <주관심분야 : DRAM 및 NVFRAM 응용을 위한 강유전체 박막, Pyroelectric 센서>