

P(VDF-TrFE) 유기 박막의 제조와 압전 특성에 관한 연구

論 文
57P-4-8

A Study on the Fabrication of P(VDF-TrFE) Organic Thin Films and Piezoelectric Characteristics

朴 修 弘[†]
(Su-Hong Park)

Abstract - The purpose of this paper is to investigate the fabrication of P(VDF-TrFE) organic thin films through the vapor deposition method and the piezoelectric properties of the organic thin films thus produced. Vapor deposition was performed under the following conditions : the working temperature, and the pressure of reaction chamber were 300°C, and 2.0×10^{-5} Torr, respectively.

The molecular structure and crystallinity of the evaporated organic thin films were evaluated by using a FT-IR (Fourier-Transform Infrared spectroscopy) and XRD (X-ray diffractometry). The results showed that crystallinity increased with an increase in the substrate temperature. When the P(VDF-TrFE) organic thin films were fabricated by increasing the substrate temperature, its piezoelectric coefficient(d_{33}) increased.

Key Words : P(VDF-TrFE), Organic Thin Films, Molecular Structure, Substrate Temperature, Piezoelectric Coefficient

1. 서 론

현재의 기능성 재료 분야에 있어 고분자 합성기술과 성형 기술의 발전은 고분자 재료가 가지고 있는 특성을 이용하여 종래의 세라믹스 재료가 지니고 있는 단점들을 극복하자 하는 많은 연구들이 활발히 진행되고 있는 실정이다[1, 2].

1969년에 일본의 Kawai에 의해서 발견된 PVDF(Polyvinylidene Fluoride)는 강한 압전 효과와 더불어 초전효과를 나타내는 특성을 지니고 있어 차세대 센서재료로서의 활용 가치에 대한 기대감을 충족시키기에 충분한 재료라고 할 수 있다[3].

하지만 PVDF는 한계가 존재하는 재료이기도 하다. 그 이유는 현재까지 PVDF의 결정 형태는 α (Form II), β (Form I), γ (Form III), δ (Form IV) 형의 4종이 발견되었으며 [4-7], 이들 중에서 가장 큰 압전 특성을 갖는 β -PVDF의 결정 형태를 얻기 위한 기존의 일렉트렛 제조 방법들은 고전계 하에서 분극을 하거나 4배 이상의 연신을 행하는 방법들이 주로 사용되어 왔다[8-12].

그러나 이러한 방법들은 고전계가 인가된 상태에서 필름 표면으로 흐르는 과전류에 의한 절연 파괴와 분자쇄가 필름 표면으로 거칠게 배향되는 경향을 지니고 있기 때문에 고분자 압전 센서 재료로서의 응용을 위한 센서 재료 개발 공정에 한계로 지적되고 있는 방법들이다.

또한 이러한 복잡한 공정은 시간적인 측면에서 비경제적 일 뿐만 아니라 공정 시 고분자 표면에 불순물이 흡착될 가

능성이 있으므로 고분자 일렉트렛의 물성에 있어 치명적인 악영향을 미칠 수 있는 방법들이다. 특히 이러한 단점들은 고분자 재료가 유연성, 가공성, 가소성 등이 무기질 재료에 비하여 뛰어나면서도 불구하고 압전 재료로서 활발히 연구되지 못한 원인으로 현재 고분자 압전 재료의 응용 면에 있어 단점으로 지적되고 있는 점들이다[13].

이에 본 연구에서는 이러한 문제점을 극복하고자 β 형태의 결정 구조를 지니고 있는 P(VDF-TrFE) 공중합체를 이용하여 유기 박막을 제조하고 제조된 유기 박막의 압전·초전 센서 재료로서 응용 가능성 여부를 검토하고자 하였다.

본 연구에서는 P(VDF-TrFE)의 mol% 변화에 따른 원재료를 진공증착법과 기판 온도 제어법으로 유기 박막을 제조하고 제조된 유기 박막의 결정구조 분석과 분자구조 분석을 통한 유기 박막의 물성 분석과 압전 재료로서의 활용 가치를 평가하고자 압전 계수를 측정하였다.

2. 실험

2.1 시료

본 연구에 사용된 시료는 MSI (Measurement Specialties Inc.)로부터 제공된 분말 형태의 P(VDF-TrFE) 공중합체를 이용하여 물리 증착방법 중의 한 방법인 진공증착법을 이용하여 약 3000Å 유기 박막을 제조하고 제조된 유기 박막의 물성과 전기적 특성을 분석하는데 있다. 사용한 공중합체는 VDF(Vinylidene Fluoride)와 TrFE(Trifluoroethylene)을 70/30mol%와 80/20mol% 비율로 공중합 한 것이며, 진공증착시 발열원의 온도를 변화시켜가며 최적의 증착 온도를 설정하고자 하였다. 또한 압전·초전 특성에 영향을 미치는 결정화도를 증가시키고자 기판온도 제어법을 사용하여 유기 박막을 제조 하였다.

[†] 교신저자, 正會員 : 유닉스 電子(株) 商品開發室長 · 工博
E-mail: pvd9514@empal.com

接受日字 : 2008年 9月 1日

最終完了 : 2008年 9月 30日

2.2 결정형태 분석

결정 형태 분석을 통한 β형태의 결정 구조 분석과 더불어 결정화도의 분석을 위하여 X-선 회절 분석기(XRD, Philips Co., X'Pert-MPD DY616)를 이용하여 측정 범위 Bragg angle 2θ가 15°에서 45°까지 측정하였으며, 또한 결정화도는 비선형 곡선 정렬법을 이용한 수치 해석 방법을 사용하였다.

2.3 분자 구조 분석

본 연구에서는 P(VDF-TrFE) 공중합체에 대해서 진공증착법으로 제조된 공중합체 유기 박막의 분자구조를 분석하기 위하여 적외선 흡수 분광기(FT-IR: Fourier Transform-Infrared Spectra, Perkin-Elmer, Spectrum 2000 Explorer)를 이용하여 측정범위 400cm⁻¹에서 1600cm⁻¹, 분해도 4.0, scan number 32로 고정시켜 측정하였다.

P(VDF-TrFE) 유기 박막(이하 : 유기 박막)의 분자 구조 분석을 위해서 단결정의 KBr(Potassium Bromide) 위에 유기 박막을 성장 시켜 분자 구조 분석을 하였다.

2.4 압전 계수의 측정

압전 계수 d₃₃은 Berlincourt d₃₃-meter(Piezo d-Meter, model CADT)를 이용하여 측정하였다. 먼저 기관으로는 동판(직경 27mm, 두께 0.025mm)을 사용하였으며, 사용된 동판은 표면을 정밀 가공 처리하여 표면 조도를 일정하게 하였다. 기관 위에 각각의 조건에서 유기 박막을 제조하고, 상부 전극을 알루미늄으로 증착 한 후 d₃₃ 메타를 이용하여 압전 계수를 측정하였다. 이때 인가한 힘은 0.1 N이었으며, 인가 주파수는 50 Hz로 유지시켰다. PVDF 유기 박막의 압전 정수 d₃₃는 임의로 시편의 5군데를 10회씩 측정하여 그 평균값을 채택하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 발열원 온도에 따른 증착 특성

진공증착법을 이용하여 유기 박막을 성장시키고자 발열원의 온도를 단계적으로 증가시켜 실험한 결과 260°C부터는 유기 박막이 형성되었다. 이에 증착 특성의 경제성을 판단하기 위하여 발열원의 온도를 20°C씩 증가시켜가며, 증착 특

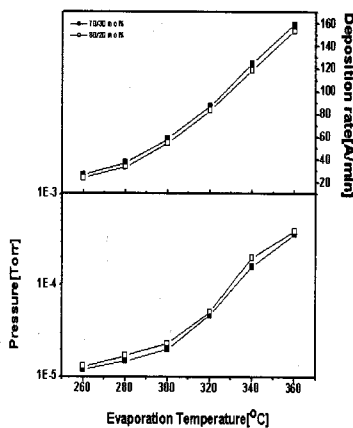


그림 1 P(VDF-TrFE) 공중합체의 발열원 온도에 따른 증착 특성
Fig. 1 Vapor deposition characteristics of P(VDF-TrFE) copolymer with heating temperature

성 및 진공도를 분석하여 그림 1에 나타내었다. 이 때 증착량은 수정 진동자식 막 두께 측정 장치를 이용하여 10분 간격으로 측정된 증발량을 주사 전자 현미경과 α-step을 이용하여 증착된 공중합체 박막의 두께를 정확히 산출한 후 증착량으로 비례적으로 계산하여 최종적으로 구한 증착 특성 결과이다. 그림의 결과를 살펴보면 발열원의 온도가 260°C~300°C에서 평균 증착률은 70/30mol% 유기 박막의 경우 26.3Å/min에서 58.3Å/min이었고, 80/20mol% 유기 박막의 경우 24.3Å/min에서 54.96Å/min 이었다. 그리고 반응부 내의 진공도는 각각 1.2×10⁻⁵Torr에서 2.5×10⁻⁵ Torr와 1.2×10⁻⁵Torr에서 2.3×10⁻⁵Torr로 비교적 안정한 상태로 유지되었다.

반면에 300°C보다 높은 온도에서의 증착량은 87.3 Å/min에서 159.5Å/min이었고, 반응부 내의 진공도는 4.7×10⁻⁵Torr에서 3.6×10⁻⁴Torr와 5.1×10⁻⁵Torr에서 3.9×10⁻⁴Torr로 매우 불안정한 상태였다. 제조된 유기 박막의 표면 색깔은 불투명한 흰색에서 황갈색을 띠고 있음을 알 수 있었다. 이는 유기 박막으로 성장시 열분해에 의한 원인으로 분석이 된다. 위의 결과로부터 70/30mol%와 80/20mol% 유기 박막의 경우 증착 온도가 300°C를 넘어서면 열분해가 일어남을 알 수 있었다. 따라서 고분자 박막 제조의 경제성을 고려하여 발열원의 온도를 300°C로 설정하여 박막을 제조하였다.

그림 2는 발열원의 온도를 300°C로 유지시키고 기관온도를 변화 시켰을 때의 증착 특성을 나타낸 것이다. 진공증착시 유기 박막의 결정화도를 증가시켜서 압전 및 초전 특성을 증가시키고자 기관온도 제어법을 사용하였으며, 기관온도는 30°C에서 120°C로 변화시켜 유기 박막을 제조 하였다. 그림의 결과를 살펴보면 기관의 온도가 120°C로 증가시킴에 따라서 70/30mol %의 경우 증착량은 약 90%정도로 감소함을 알 수 있었으며, 80/20mol %의 경우는 약 50% 정도 증착량이 감소하는 것을 알 수 있었다.

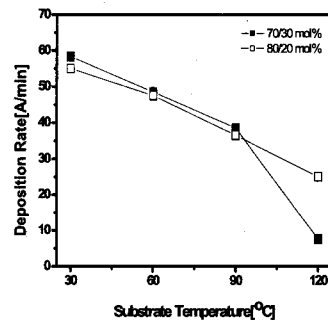


그림 2 P(VDF-TrFE) 공중합체의 기관 온도에 따른 증착 특성
Fig. 2 Vapor deposition characteristics of P(VDF-TrFE) copolymer with substrate temperature

이와 같이 기관온도가 상승함에 따라서 증착량이 감소하는 이유를 과포화도와 응집 에너지의 개념을 도입하여 해석하면, 과포화도(단, 과포화도란 기관면에 입사하는 분자수와 재 증발하는 분자수의 비)가 작을 경우 즉, 기관 온도가 낮아 기관면에서 재 증발하는 입자수가 적을 경우에는 기관상에 입사된 기체 분자는 병진, 회전 운동을 할 공간적, 시간적인 여유가 없으며, 또한 응집 에너지가 크기 때문에 일정

한 두께의 유기 박막을 성장시키는데 소요되는 시간은 감소하는 것으로 생각할 수 있다. 반면에 과포화도가 클 경우에는 기판면 상에 입사된 기체 분자가 병진, 회전 운동을 할 시간적, 공간적인 여유가 존재함으로써 재 증발할 가능성은 증가되기 때문에 일정한 두께의 유기 박막을 제조하는데 상당한 시간이 소요된다는 것이다[14].

3.2 결정 구조 분석

강유전성 고분자에 있어 압전성의 기원은 결정 영역 안의 쌍극자의 배향에 의한 것으로 압전 특성을 향상시키기 위해서는 유기 박막 제조 시 결정화도를 증가시키는 것이 무엇보다 중요하다[15]. 그러나 진공증착법으로 유기 박막을 제조 시 공중합체는 주쇄의 열분해에 의해 분자량이 현저히 감소하게 되며, 분자량의 감소는 결정화도를 감소시키는 원인으로 작용한다. 분자량을 증가시키기 위하여 발열원의 온도를 높일 경우 분자 배향에 문제가 생기므로 분자량을 증가시키는 방법에는 한계가 있다. 그러므로 본 연구에서는 결정화도를 증가시키는 방법으로 기판 온도로서 열처리하는 방법을 선택하였다.

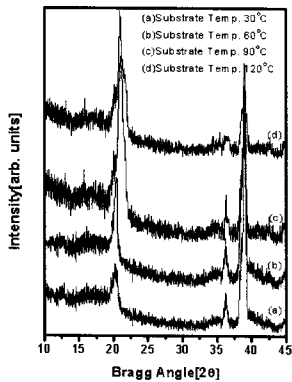
기판 온도를 변화시켜 가며 제조한 공중합체 박막의 상변화를 분석하기 위해 발열원의 온도를 300℃로 유지하여 제

조된 70/30mol%와 80/20mol% 유기 박막의 X-선 회절분석 결과를 그림 3에 나타내었다. 기판온도를 90℃까지 증가시키에 따라서 제조한 70/30mol% 유기 박막의 X-선 회절분석 결과 β형태의 결정 피크인 20.03°에서 나타나는 (200)+(110) 피크와 35°에서 나타나는 (001)피크가 증가하고 있음을 알 수 있었다.

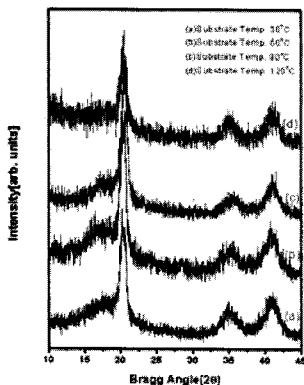
반면에 기판온도가 120℃에서는 β형태의 (001) 피크와 40.45°에서 나타나는 γ(201)형과 β(111)형이 결합된 결정 피크의 강도는 감소함을 알 수 있었다.

이와 같이 기판 온도를 120℃로 고정시켜 제조한 70/30mol%의 유기 박막의 경우, β형태의 결정피크가 감소한다는 것은 큐리 전이온도 부근에서 발생하는 상전이에 의한 원인이라고 생각된다[16]. 즉, 강유전상에서 존재하는 유기 박막이 기판온도를 큐리 전이 온도까지 상승시키에 따라서 상유전상으로 일정부분 상전이가 이루어지고 있음을 나타내어 주는 결과라고 할 수 있겠다. 반면에 기판온도를 120℃까지 증가시켜서 제조한 80/20mol% 유기 박막의 경우에는 β형태의 결정 구조가 존재한다는 것을 알 수 있었다. 이와 같은 결과는 VDF의 함량이 증가함에 따라서 큐리 전이온도가 120℃ 이상에서 존재한다는 것을 나타내어 주는 결과라고 할 수 있겠다[17, 18].

그림 4는 분석된 X-선 회절 분석 결과에 대해서 비선형 곡선정렬법을 이용한 수치해석법으로 구한 결정화도를 나타낸 것이다. 그림의 결과를 살펴보면 일반적으로 VDF의 함량이 높을수록 결정화도가 증가함을 알 수 있었다. 기판 온도의 증가에 따라서 제조한 70/30mol%의 유기박막의 결정화도는 85.6%에서 89%로, 80/20mol%의 유기박막은 89.4%에서 93%로 각각 증가함을 알 수 있었다.



(a) 70/30mol% P(VDF-TrFE) organic thin films



(b) 80/20 mol% P(VDF-TrFE) organic thin films

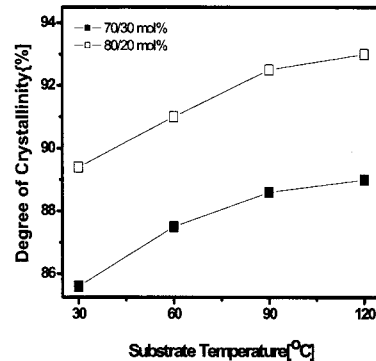


그림 4 발열원 온도에 따른 70/30mol%와 80/20mol% P(VDF-TrFE) 유기 박막의 결정화도

Fig. 4 The degree of crystallization of 70/30mol% and 80/20mol% P(VDF-TrFE) organic thin films with substrate temperature

이와 같은 결과는 진공증착시 기판온도 제어법을 이용하여 유기 박막을 제조하는 방법이 결정화도를 증가시키는 중요한 요소로 작용한다는 것을 나타내어 주는 결과라고 할 수 있겠다.

3.3 분자 구조 분석

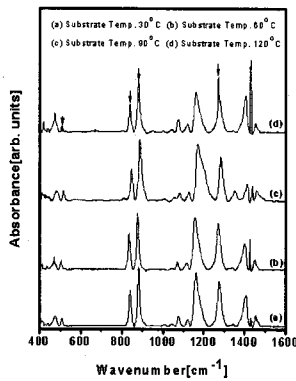
그림 5는 기판 온도 변화에 따라 제조된 70/30 mol%와 80/20mol% 유기 박막의 적외선 흡수 분광 분석 결과를 나타내었다. 각각의 측정된 결과들에 대해서 기준선의 정렬은

그림 3 기판 온도에 따른 70/30mol%와 80/20mol% P(VDF-TrFE) 유기 박막의 X-선 회절분석

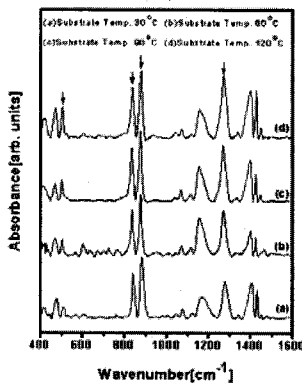
Fig. 3 X-ray diffraction of 70/30mol% and 80/20mol% P(VDF-TrFE) organic thin films with substrate temperature

α , β , γ 형의 모든 피크에서 나타나는 880cm^{-1} 피크의 강도를 기준으로 분석을 하였다.

그림 5(a)의 70/30mol% 유기 박막의 경우, 기판 온도가 30°C 에서 90°C 로 증가함에 따라 β 형태의 결정에서 나타나는 CF_2 굽힘 진동 형태인 510cm^{-1} 피크와 CF_2 와 CC 신축 진동과 CCC 굽힘 진동 형태의 1278cm^{-1} 피크와 CH_2 굽힘 진동 형태의 1430cm^{-1} 피크가 증가함을 알 수 있었다. 하지만 120°C 이상에서 제조한 유기박막의 경우에는 510cm^{-1} 피크는 감소를 하였고, α 형태의 특성 피크인 1073cm^{-1} 피크는 증가함을 알 수 있었다. 일반적으로 PVDF 분자 구조의 경우 단 일상으로 존재하는 것 보다는 여러 가지의 상으로 존재한다는 것이 알려져 있다[19]. 다상으로 존재하는 분자구조에서 β 형태의 특성 피크에 대한 상대 강도비를 증가시키는 것이 가장 중요한 요소라고 할 수 있겠다.



(a) 70/30mol% P(VDF-TrFE) organic thin films



(b) 80/20mol% P(VDF-TrFE) organic thin films

그림 5 70/30mol%와 80/20mol% P(VDF-TrFE) 유기 박막의 적외선 흡수 분광 분석

Fig. 5 FT-IR spectrum of 70/30mol% and 80/20mol% P(VDF-TrFE) organic thin films with substrate temperature

이와 같은 결과는 X-선 회절 분석 결과에서도 언급을 하였던 기판온도가 120°C 일 때 70/30mol%의 유기 박막은 강유전상에서 상유전상으로 상전이가 일어나고 있다는 결과와 동일한 결과라고 하겠다. 반면에 80/20mol%의 경우는 기판온도를 증가시키에 따라서 제조한 유기 박막이 β 형태의 특성 피크인 510cm^{-1} , 1272cm^{-1} 피크는 증가하는 경향을 나

타내었으며, α 형태의 특성 피크인 1073cm^{-1} 피크는 약간 감소하는 경향을 나타냄을 알 수 있었다.

이와 같은 결과는 진공증착법으로 유기 박막 제조 시 기판면으로 입사된 분자가 기판면에서 다시 재배향을 한다는 것을 나타내어 주는 결과이다. 기판온도가 큐리 전이 온도 이하에서는 기판 온도가 높을수록 결정화도가 증가하고, β 형의 분자 구조의 상대 강도가 증가한다는 것을 나타내어 주는 결과라고 할 수 있겠다.

3.4 유기 박막의 압전 특성

제조된 유기 박막에 대해서 센서 재료로서의 활용가치를 분석하기 위한 기초적 분석 방법으로 d_{33} 메터를 이용한 압전 계수를 분석하여 그 결과를 그림 6에 나타내었다.

압전 계수는 mol%와 기판온도 제어에 따라서 제조한 각각의 시편에 대해서 각각 10회씩 측정을 한 후 그 결과 값을 이용하였다.

70/30mol%의 유기 박막의 경우 기판온도가 저온일 때 보다 고온으로 형성시킴에 따라서 압전 계수가 약 2.8배 정도 증가한 것을 알 수 있었다. 반면에 120°C 의 기판온도로 제조한 유기 박막의 압전 계수는 감소한 것을 알 수 있었는데, 이는 X-선 회절 분석 결과와 분자 구조 분석에서 언급을 한 것처럼 상전이에 따른 것으로 분석이 된다. 반면에 80/20mol%의 유기 박막의 경우는 기판온도의 증가에 따라서 압전계수가 약 3배가량 증가한 것을 알 수 있었다.

이와 같은 결과는 유기 박막 제조 시에 기판온도를 큐리 전이온도 이하에서 제조할 경우 유기 박막의 결정화도 증가와 더불어 분자구조의 재배향에 의한 영향으로 β 형태의 결정 구조의 증가에 따른 압전계수가 높은 유기 박막을 제조할 수 있음을 나타내는 결과라고 할 수 있겠다.

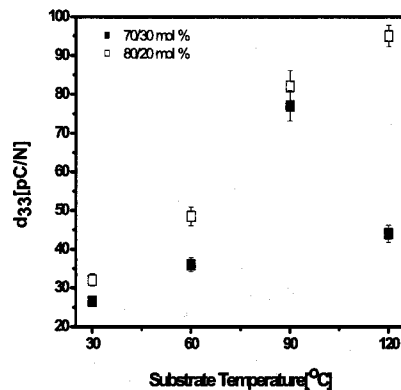


그림 6 기판 온도의 변화에 따라 제조한 P(VDF-TrFE) 유기 박막의 압전 계수

Fig. 6 The piezoelectric coefficient of P(VDF-TrFE) organic thin films prepared with substrate temperature

4. 결 론

본 연구는 mol%와 기판온도의 변화에 따라서 P(VDF-TrFE) 유기 박막을 제조하고 제조된 유기 박막의 물성분석과 전기적 특성 분석을 통하여 다음과 같은 결론을

얻을 수 있었다.

기관 온도를 큐리 전이 온도 이하로 유지하여 유기 박막을 제조 할 경우 β 형태의 결정구조를 갖는 양질의 유기 박막을 제조 할 수가 있었다.

또한 기능성 계수인 압전 계수는 기관 온도의 변화에 따라서 상온에 비하여 약 3배 증가된 특성이 나타남을 알 수 있었다.

이상의 결과로 진공증착법을 이용하여 유기박막을 제조 할 때 기관온도를 큐리 전이온도 이하로 유지시켜 제조할 때 보다 압전 특성이 뛰어난 유기 박막을 제조할 수 있음을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] S. Hurmila, H. Stubb, J. Pitkanen, K. Lahdenpera and A. Penttinen, "Ultrasonic Transducers using PVDF", *Ferroelectrics*, Vol. 115, pp. 267~278, 1991
- [2] K. Tanaka, S. Kimura, J. Nakahashi, S. Umemoto, N. Okui and T. Sakai, "Molecular Orientation Mechanism of n-Paraffins and Fatty Acid Thin Films by Evaporation Method", *Kobunshi Ronbunshu*, Vol. 44, No. 11, pp. 817~823, 1987
- [3] H. Kawai, "The piezoelectricity of Poly(vinylidene fluoride)", *Jpn. J. Appl. Phys.*, 8, pp. 975~976, 1969
- [4] J. Lovinger and H. D. Keith, "Electron Diffraction Investigation of a High-Temperature Forms Poly(vinylidene fluoride)", *Macromolecules*, Vol. 12, No. 5, pp. 919~924, 1979
- [5] J. Scheinbeim, C. Nakafuku, B. A. Newman and K. D. Pae, "High-Pressure Crystallization of Poly(vinylidene fluoride)", *J. Appl. Phys.*, Vol. 50, No. 6, pp. 4399~4405, 1979
- [6] W. M. Prest, Jr. and D. J. Luca, "The Formation of the γ Phase from the α and β Polymorphs of Poly(vinylidene fluoride)", *J. Appl. Phys.*, Vol. 49, No. 10, pp. 5042~5049, 1978
- [7] D. Naegele, D. Y. Yoon and M. G. Broadhurst, "Formation of a New Crystal Form(α_p) of Poly(vinylidene fluoride) under Electric Field", *Macromolecules : Communication to the Editor*, pp. 1297~1298, 1978
- [8] T. T. Wang and Heinz von Seggern, "High electric field poling of electroded poly(vinylidene fluoride) at room temperature", *J. Appl. Phys.*, Vol. 54, No. 8, pp. 4602~4604, 1983
- [9] M. Tamura, K. Ogasawara, N. Ono and S. Hagiwara, "Piezoelectricity in uniaxially stretched poly(vinylidene fluoride)", *J. Appl. Phys.*, Vol. 45, No. 9, pp. 3768~3770, 1974
- [10] A. Sen, J. I. Scheinbeim and B. A. Newmann, "The effect of plasticizer on the polarization of poly(vinylidene fluoride) films", *J. Appl. Phys.*, Vol. 56, No. 9, pp. 2433~2439, 1984
- [11] J. B. Lando, H. G. Olf and A. Peterlin, "Nuclear Magnetic Resonance and X-Ray Determination of the Structure of Poly(vinylidene Fluoride)", *J. Polym. Sci. : Part A-1*, pp. 941~951, 1965
- [12] B. A. Newman, C. H. Yoon, K. D. Pae and J. I. Scheinbeim, "Piezoelectric Activity and Field-Induced Crystal Structure Transitions in Poled Poly(vinylidene fluoride) Films", *J. Appl. Phys.*, Vol. 50, No. 10, pp. 6095~6100, 1979
- [13] 佐藤 裕亮, 丸山 統雄, "機能性高分子エレクトレット(とくに PVDF系)の新しい展開", *日本静電気學會紙*, Vol. 11, No. 6, pp. 422~430, 1987
- [14] N. Okui, "有機蒸着薄膜の分子配向特性", *日本高分子論文集*, Vol. 12, No. 10, pp. 695~704, 1988
- [15] 이선우, "진공증착법으로 제조한 PVDF 박막의 전기전도 현상과 열자극 전류에 관한 연구", *인하대학교 석사논문*, 1999
- [16] 金在汶, "高分子化學", *東明社*, pp. 71~73, 1985
- [17] 박수영, "비닐리덴 플루오라이드-트리플루오로에틸렌 공중합체의 압전성과 큐리 전이", *서울대학교*, 1987
- [18] 손병혁, "처리조건이 VDF-TrFE(60/40 mol%) 공중합체 필름의 Curie 전이와 압전성에 미치는 영향", *서울대학교*, 1989
- [19] 박수홍, 이덕출, "진공증착법을 이용한 PVDF박막의 제조와 유전 특성", *대한전기학회지*, Vol. 45, No. 11, pp.1573~1578, 1996

저 자 소 개



박수홍 (朴修弘)

1997년 2월 인하대학교 석사 졸업, 2000년 2월 동 대학 박사 졸업, 현재 유닉스전자(주) 상품개발실장