

산업용 센서에 사용하는 Teflon계 박막 일렉트렛의 내열성 향상에 관한 연구

김병수[†] · 이덕출

인하대학교 전기공학과

(2003. 4. 23. 접수 / 2003. 6. 9. 채택)

A Study on the Way to Increase Heat Resistance of Teflon Type Thin Film Electret Applied for Industrial Sensor

Byung-Soo Kim[†] · Duck-Chul Lee

Department of Electrical Engineering, Inha University

(Received April 23, 2003 / Accepted June 9, 2003)

Abstract : For the increase the charge stability of teflon electrets for used at uncomfortable industrial circumstances with high temperature or humidity, We made an investigation into double layer effect of teflon electrets. Teflon AF film was spincoated on FEP film and then the charge storage property of AF/FEP dual film was investigated to be compared with FEP film. It was found that the AF/FEP dual film has higher surface potential than FEP film on the repeated charging and annealing process. It seems that AF/FEP dual film has higher thermal stability than FEP film through TSC measurement. If the investigations of the double layer effect of Teflon film carried out more closely with its molecular structures and surface conditions, it may be effectively improved the stability of charge storage.

Key Words : electrets, thermal stability, charge storage, double layer

1. 서 론

Teflon 폴리머 일렉트렛은 우수한 전하 저장 특성을 지니고 있기 때문에 일렉트렛의 응용면에서 매우 중요하다. 전화기 다이얼, 충격 감지장치나 기계, 모터 등의 노이즈 감시 장치 등의 산업용 electro-mechanical transducer를 비롯하여 광범위한 분야에 이러한 Teflon 일렉트렛이 응용되고 있다. 그러나 이들 Teflon 일렉트렛은 일반적인 환경에서는 정상적으로 동작할 수 있으나 급격한 온도 변화나 습도 변화 등의 열악한 환경에서는 저장된 전하를 잃어버려 그 역할을 다할 수 없다는 단점이 있다¹⁾. 일부 Teflon 일렉트렛을 응용한 감시 장치들은 산업 현장에서 부득이 하게 비정상적인 환경에 노출될 가능성이 크고 그 이용 목적이 작업자 및 장비의 안전성과 연관된 것이므로 예의 열악한 환경에서도 일렉

트렛으로서의 기능을 다할 수 있도록 전하보존 특성의 개선이 요구되고 있는 실정이다.

본 연구에서는 Teflon 일렉트렛중 많은 분야에 응용되고 있는 Fluorethylenepropylene (Teflon FEP, DuPont)의 전하보존 특성 개선을 위하여 12.5 μm 두께의 FEP 위에 Teflon AF(DuPont)를 적층하였다. 이렇게 적층된 AF/FEP 이중 필름을 부 코로나 하전 (negative corona charging)과 230 $^{\circ}\text{C}$ 열처리를 반복하여 FEP 필름의 특성과 비교 분석하였다.

AF/FEP 이중 필름 형성에 의한 열적 안정성 개선 여부를 확인하기 위하여 FEP 필름과 AF/FEP 이중 필름의 반복하전 및 열처리에 따른 표면전위 변화와 열자극전류(Thermal Stimulated Current : TSC) 측정으로 전하저장 특성을 조사하였다.

2. 실험 방법

1.5 mm 두께의 Al 기판 위에 12.5 μm FEP 필름

[†]To whom correspondence should be addressed.
drkbs@hanmail.net

3. 실험결과

을 열 압착 방법으로 코팅하고 압착된 FEP 필름 위에 Teflon AF1601S를 1 μm 두께로 스펀코팅 하였다. Teflon AF는 상온에서 액상이므로 스펀코팅을 이용하여 2 μm 이내의 두께로 적층이 가능하고 기판에 점착력이 강하며 높은 열적 안정성을 가진 물질로서 이중 적층에 용이하다²⁾. 또한 Teflon AF의 전하 저장 특성은 Teflon FEP와 비교할 만큼 우수한 것으로 알려져 있다³⁾. AF/FEP 이중 필름과 FEP 필름을 하전 시키는데 있어, 부 코로나 하전 방법을 이용하여 상온에서 하전하였다. 코로나 방전에 의한 일렉트렛의 하전 방법은 liquid contact^{4,5)}, voltage breakdown^{6,8)} 그리고 electron beam⁹⁾ 등의 다른 방법에 비해 비교적 단순하면서도 표면전하의 균일성과 대면적 하전이 가능하다는 이유로 많이 이용되고 있다¹⁰⁾. 코로나 하전장치는 시편의 균일한 표면전위 분포를 위해 금속 침 전극과 그리드 전극으로 이루어져 있으며 금속 침에 10 kV, 그리드와 시편 사이에 1 kV의 전압을 인가하여 하전 후 시편의 표면전위가 400 V가 되도록 하였다.

FEP 필름과 AF/FEP 이중 필름의 반복 하전에 따른 표면전위 변화와 전하 보존성 관찰을 위해 하전과 열처리를 4회까지 반복 수행하였고 각각의 단계에서 시편들은 하전 후에 230°C에서 10분간 열처리한 상태에서 표면전위를 측정하였다.

열처리를 하지 않은 시편과 4회 반복 하전 및 열처리를 거친 시편들의 열적 안정성을 비교하기 위해 열자극전류(TSC)를 측정하였다. TSC는 Toyoseiki사의 TSC 측정 장치를 이용하여 90~100 kPa의 진공 분위기에서 50~250°C 영역에서 측정하였으며 이때 승온 속도는 약 5°C/min이었다.

부 코로나 하전된 FEP의 경우 고온(약 230°C)에서 하전하거나 상온 하전 후 고온(약 230°C)에서 열처리하면 표면의 전하가 시편 내부로 침투하는 이른바 전하확산(Charge spreading)에 의해 표면전위가 감소하는 것으로 알려져 있다³⁾. 또한 이러한 전하확산의 효과는 시편의 표면보다 에너지 준위가 높은 시편 내부에 전하가 포획됨으로 인해 시편의 열적 안정성이 향상되는 결과를 가져온다. 표 1은 FEP와 AF/FEP 이중 필름 각각의 시편에 대해 하전과 열처리를 반복한 후 표면전위를 측정한 결과이며 열처리 단계에 따른 표면전위 변화를 그림 1에 나타냈다. 각각의 표면전위가 400 V가 되도록 하전한 후 230°C에서 10분간 열처리 하였을 때 FEP 필름과 AF/FEP 이중필름의 표면전위(VS/V0)는 각각 0.3과 약 0.5로 측정되었다. 이는 AF/FEP 이중 필름이 FEP 필름에 비해 열적 안정성이 크다는 것을 의미한다. 반복하전 및 열처리에 따라 양쪽 모두 표면전위가 증가하지만, 4회 반복하전까지 AF/FEP 이중 필름의 표면전위가 FEP 필름에 비해 상대적으로 크게 나타났다. 이러한 실험 결과는 AF/FEP 이중 필름에 있어 포획되는 전하의 에너지 준위가 FEP 필름의 경우보다 높으며, 따라서 같은 온도 조건에서 시편이 잃게 되는 전하의 양이 작다는 것을 나타낸다.

그림 2는 FEP 필름과 AF/FEP 이중 필름의 열처리 전 TSC 측정결과이다. TSC 그래프에서 피크가 나타나는 것은 해당 온도에서 방출되는 전하량이 크다는 것을 의미하며 따라서 피크가 고온에 위치할수록 열적 안정성이 크다고 할 수 있다¹¹⁾.

Table 1. Surface potential of FEP and AF/FEP films depend on repeated charging and annealing.

	FEP		AF/FEP	
	VS	VS/V0	VS	VS/V0
1st Charging	400	1	400	1
1st Annealing	120	0.3	207	0.52
2nd Charging	400	1	400	1
2nd Annealing	180	0.45	320	0.8
3rd Charging	400	1	400	1
3rd Annealing	240	0.6	365	0.92
4th Charging	400	1	400	1
4th Annealing	270	0.68	378	0.95

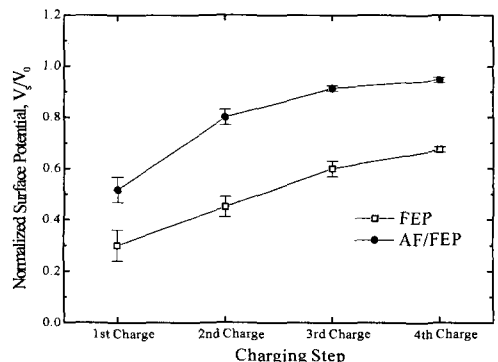


Fig. 1. Repeated charging and annealing dependence normalized surface potentials for FEP and AF/FEP films.

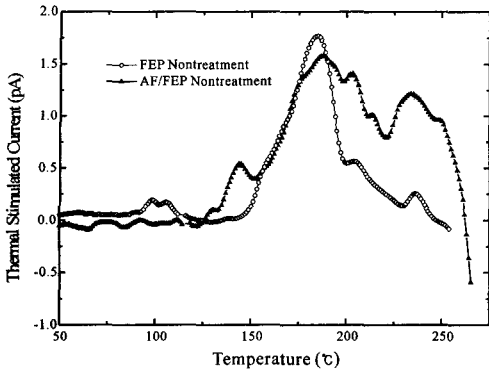


Fig. 2. TSC curves of negative corona charged FEP and AF/FEP dual film before annealing.

그림 2의 열처리 전 두 시편의 TSC 곡선에서는 서로 비슷한 위치에 각각의 피크가 위치하고 있으며 최고 피크의 위치 또한 약 180°C로 유사하게 나타났다. 그러나 FEP 필름에 비해 AF/FEP 이중 필름의 경우 TSC 피크의 폭이 넓게 나타났으며 이는 비슷한 온도에서 TSC 피크를 갖는 것으로 알려져 있는³⁾ FEP와 AF가 이중으로 적층됨으로 인해 보다 폭넓은 에너지 준위의 전하들이 포획됐기 때문이라고 해석할 수 있다.

그림 3의 TSC 그래프는 4회 반복 하전 및 230°C 열처리를 거친 FEP와 AF/FEP 이중 필름의 측정결과이다. 그림 2의 결과처럼 AF/FEP 이중 필름에 있어 피크의 폭이 FEP 필름의 경우보다 넓게 나타난 반면, 그림 2의 결과와 비교할 때 FEP와 AF/FEP 이중 필름의 TSC 최고 피크의 위치가 각각 약 230°C와 약 270°C로 증가했다는 것은 열처리를 통해 낮은 에너지 준위의 전하들이 방출되고 다시 하전과 열처리를 반복함으로써 인해 보다 높은 에너지 준위의 전하들이 남아있게 된 것이라 할 수 있다. 또한, FEP에 비해 AF/FEP 이중 필름의 최고 피크가 더 고온에 위치한다는 것은 AF/FEP 이중 필름이 열처리를 통한 열적 안정성 개선 효과가 크다는 것을 의미한다. Teflon AF 필름에 대해 보고된 바에 의하면 열처리에 의해 TSC 피크가 약 220°C까지 증가하는 것으로 알려져 있다¹²⁾. 이는 FEP의 TSC 측정결과와 크게 다르지 않다. 그러나 AF/FEP 이중 필름의 TSC 최고 피크의 위치가 보다 높게 나타났다는 것은 AF와 FEP 이중 필름 형성으로 각각의 전하저장 특성과는 별개의 다른 전하저장기구(charge storage mechanism)가 존재할 것이며 이는 AF와 FEP의 경계면의 전하 저장 효과일 것이라 추론할 수 있다.

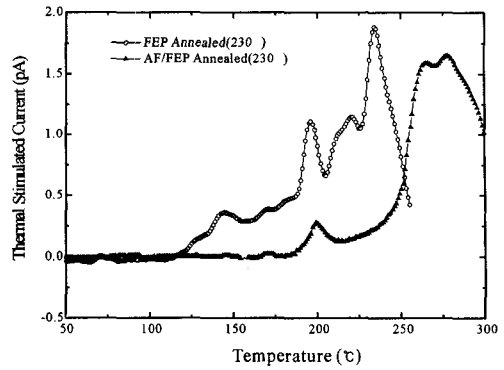


Fig. 3. TSC curves of FEP and AF/FEP dual film after repeated charging and annealing.

4. 결론 및 토의

열악한 환경의 산업현장에서도 이용 가능한 일렉트렛의 개발을 위해 Teflon 일렉트렛의 이중 적층 효과에 대해 조사하였다. 현재 일렉트렛 응용 면에서 많은 부분을 차지하고 있는 Teflon FEP 필름 위에 액상의 Teflon AF 필름을 스핀 코팅하여 이중 필름을 형성하고 그 특성을 FEP 필름과 비교분석하였다. AF/FEP 이중 필름은 FEP 필름에 비해 반복 하전 및 열처리에 따른 표면전위 증가율이 높을 뿐 아니라 TSC 측정에 의한 열적 안정성 조사에서도 최고 피크의 온도가 약 270°C에서 나타나는 등 상대적으로 높은 온도안정성을 나타내었다. 이러한 AF/FEP 이중 필름의 온도 안정성 개선은 AF와 FEP 두 필름의 경계면에 저장된 전하에 의한 것으로 해석되며 이에 대해 분자구조와 표면상태 분석 등 보다 면밀한 조사가 뒷받침된다면 보다 높은 온도 안정성을 확보한 일렉트렛 개발이 가능할 것으로 사료된다.

참고문헌

- 1) G. M. Sessler, "Electrets," Laplacian Press, pp. 345-381, 1998.
- 2) J. H. Lowry, J. S. Mendlowitz, and N. S. Subramanian, "Optical Characteristics of Teflon AF Fluoroplastic Materials," Opt. Eng. Vol 31, pp. 1982-1985, 1992.
- 3) P. Gunther, H. Ding, and R. Gerhard-Multhaupt, "Electret properties of spin-coated Teflon-AF

- films," CEIDP Annual Report, pp. 197-202, 1993.
- 4) P. W. Chudleigh, R. E. Collins, and G. D Hancock, "Stability of Liquid charged Electrets," Appl. Phys. Lett., Vol 23, pp. 211-212, 1973.
 - 5) P. W. Chudleigh, "Mechanism of Charge Transfer to a Polymer Surface by a Conducting Liquid Contact," J. Appl. Phys. Vol. 47, pp. 4474-4483, 1976.
 - 6) G. M. Sessler and J. E. West, "Production of High Quasi-permanent Charge Densities on Polymer Foils by Applications of Breakdown Fields," J. Appl. Phys. Vol. 43, pp. 922-926, 1972.
 - 7) R. A. C. Altafim, J. A. Giacometti and J. M. Janiszewski, "A Novel Method for Electret Production using Impulse Voltages," IEEE Trans. Elec. Insul., Vol. 27, pp. 739-743, 1992.
 - 8) W. Stark, "Electret Formation by Electrical Discharge in Air," J. of Electrostatics, Vol. 22, pp. 329-339, 1989.
 - 9) B. Gross, R. Gerhard-Multhaupt, A. Berraissoul, and G. M. Sessler, "Electron-beam Poling of Piezoelectric Polymer Electrets," J. Appl. Phys. Vol. 62, pp. 1429-1432.
 - 10) W. D. Greason and B. H. Beyer, "Corna Charging Method for Controlled Production of Film Electrets," in 1982 Annual IAS-IEEE Meeting pp. 1148-1152.
 - 11) 이덕출, 진경시, "고분자 코로나 일렉트렛의 이상 열자극전류에 관한 연구," 전기학회논문지 제 3권, pp. 26-33, 1985.
 - 12) T. Lu, "Charge Storage in Teflon Films," IEEE ISE9, pp. 66-71, 1996.