

Wpływ warunków formowania elektretów z folii PTFE na ich własności

Abstract. Electrets found many technical applications related to the conservative character of their electric field. Preparation of electrets is based on "freezing" the state of polarization by the arrangement of the dipoles, separation of free carriers in the electric field or the introduction of free carriers from external sources. Usually electrets are used as a source of a constant electric field. This article describes a method of forming electrets from PTFE films for the purpose of subsequent applications in ionizing radiation detectors, with a long life time, and significant but stable uncompensated surface charge.

Key words – electrets, PTFE, TSQ, lifetime, activation energy

Wprowadzenie

Elektrety znalazły wiele zastosowań technicznych związanych z wykorzystaniem pola elektrycznego elektretu w sposób zachowawczy. Wytwarzanie elektretów polega na „zamrożeniu” stanu spolaryzowania poprzez uporządkowanie dipoli, rozdzielenie swobodnych nośników w polu elektrycznym (heteroładunek), lub też wprowadzeniu swobodnych nośników z zewnętrznych źródeł (homoładunek) [2]. W zależności od zastosowanej metody wytwarzania rozróżniamy:

- **termoelektrety** – gdzie następuje uporządkowanie dipoli elektrycznych poprzez działanie zewnętrznego silnego pola elektrycznego w podwyższonej temperaturze, a następnie utrwalenie tego stanu przez ochłodzenie,
- **fotoelektrety** – pobudzanie nośników ładunku w dielektryku za pomocą światła widzialnego lub promieniowania (np. gamma), a następnie odpowiednie przemieszczenie ich w materiale za pomocą silnego zewnętrznego pola elektrycznego,
- **radioelektrety** – implantowanie ładunków elektrycznych o dużej gęstości (ulot, działło elektronowe), najczęściej w cienkich foliach polimerowych, (folie elektretowe),
- **magneto-elektrety** – uporządkowanie dipoli elektrycznych w silnym polu magnetycznym, a następnie utrwalenie tego stanu przez ochłodzenie [2].

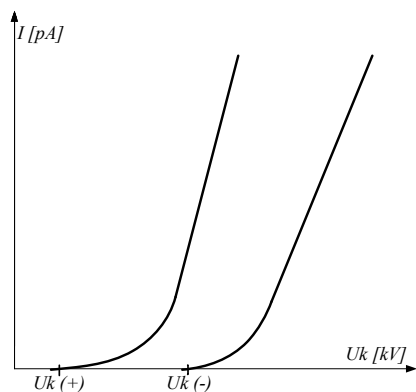
Zwykle elektrety wykorzystuje się jako źródło stałego pola elektrycznego. Artykuł dotyczy metody formowania elektretów z folii PTFE w celu późniejszego zastosowania ich w czujnikach promieniowania jonizującego[5], charakteryzujących się :

- długim czasem życia,
- stabilnym ładunkiem powierzchniowym,
- dużym nieskompensowanym ładunkiem powierzchniowym.

Formowanie elektretów

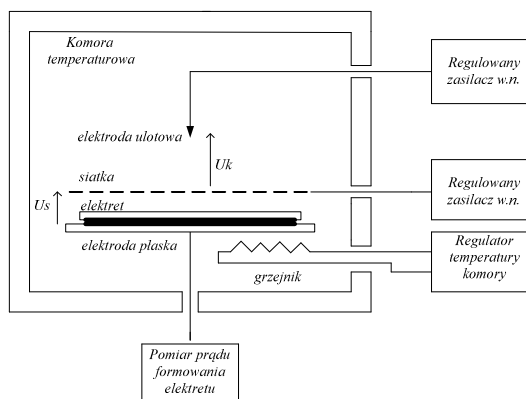
Wyładowania koronowe występujące między elektrodami zasilanymi wysokim napięciem stałym są wykorzystane jako jedna z metod elektryzacji folii polimerowych. Metoda ta polega na wprowadzeniu ładunku do folii jednostronnie metalizowanej, w konfiguracji zawierającej dwie elektrody z których, jedna, ulotowa charakteryzuje się małym promieniem krzywizny [4]. Wyładowania wystąpią przy jonizacji gazu

otaczającym przewodnik, kiedy pole elektryczne przekroczy pewną wartość, ale uwarunkowania są niedostateczne do przebicia lub powstania łuku.



Rys.1.Przebieg charakterystyki prądowo-napięciowej dla układu elektrod ostrze - płyta

Przy polaryzacji dodatniej elektrody ulotowej, a ujemnie elektrody płaskiej, wyładowanie koronowe jest dodatnie, a przy odwrotnej, ujemne. Rysunek 1.předstawia charakterystyki prądowo napięciowe $I_f=f(U_k)$ dla polaryzacji dodatniej i ujemnej. Przebiegi są nieliniowe z wartościami progowymi, U_k , różnymi dla polaryzacji dodatniej i ujemnej. Opis zjawisk fizycznych zachodzących w obu wypadkach różni się. Asymetria wynika z innej natury ujemnych i dodatnich nośników ładunku. Ujemne nośniki ładunku – elektrony, są lekkie, a nośniki dodatnie - jony są zdecydowanie cięższe.

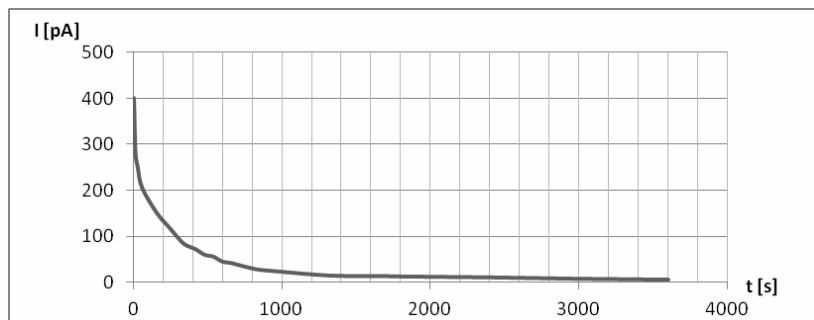


Rys.2. Schemat układu do formowania elektretu metodą powietrznej triody w podwyższonej temperaturze[4].

W pracy wykorzystano układ powietrznej triody do elektryzacji ulotem. Schemat układu przedstawiono na rys. 2. Metoda powietrznej triody pozwala na uzyskanie względnie jednorodnego rozkładu gęstości ładunku na powierzchni elektretu. Związane jest to z umieszczeniem między elektrodą ulotową a próbką w odległości kilku mm, siatki do której przyłożony jest potencjał dodatni względem uziemionej elektrody. Siatka stanowi płaszczyznę ekwipotencjalną i kontroluje potencjał na powierzchni elektrody.

VII Lubuska Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2012

Intensywność ulotu określa napięcie ulotu U_k . Jony wytworzone w obszarze ulotu przechodzą przez siatkę i są kierowane polem elektrycznym w obszarze siatka-próbka do powierzchni próbki. Jony docierające do próbki tworzą prąd ładowania próbki I_p , malejący w funkcji czasu, podczas ładowania próbki, rys. 3. Po uformowaniu próbki (stan ustalony) napięcie zastępcze elektretu U_z , jest praktycznie równe napięciu siatki U_s , przy względnie jednorodnym rozkładzie gęstości ładunku na powierzchni elektretu [4].



Rys.3. Charakterystyka prądu formowania próbki w funkcji czasu.

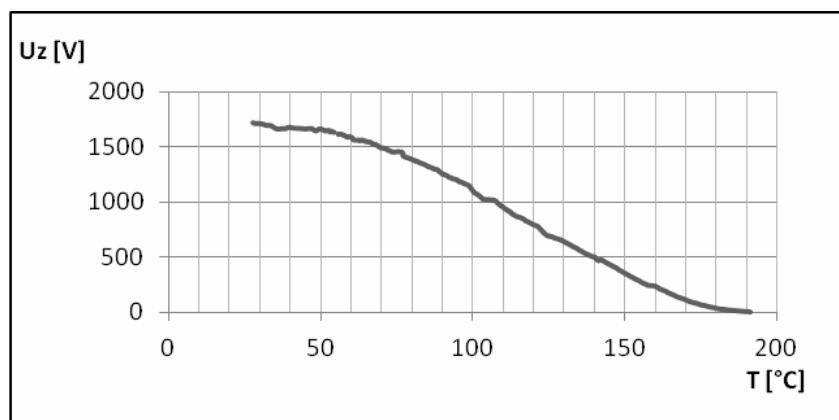
Badanie czasu życia elektretów

Praktyczne wykorzystanie elektretów wymaga określenia ich własności. Podstawowym parametrem charakteryzującym elektret jest czas utrzymywania się trwałego naelektryzowania (czas życia). Dla zastosowań technicznych wymagane jest uzyskanie maksymalnej wartości tego parametru. Formowanie elektretu w podwyższonej temperaturze ma znaczący wpływ na jego czas życia [2]. Badanie czasu zaniku ładunku polega na pomiarze efektywnej gęstości ładunku $q_s(t)$ lub wielkości z nim związanych, takich jak napięcie zastępcze $U_z(t)$ [4].

Stosowane są trzy podstawowe metody badania procesu zaniku ładunku w materiałach elektretowych:

- badania w warunkach izotermicznych,
- metoda prądów termo stymulowanych (TSDC)
- metoda termostymulowanego ładunku (TSQ) [4].

Dla materiałów elektretowych z krótkimi czasami zaniku ładunku, pomiary wykonuje się w warunkach izotermicznych. Materiały o dobrych właściwościach elektretowych bada się metodami termostymulowanymi [4]. Dla oceny czasu życia uformowanego elektretu z PTFE, zastosowano metodę termostymulowanego rozładowania ładunku TSQ. Oszacowanie tej wielkości pozwala na szybką ocenę metody formowania elektretu i jej parametrów, w celu uzyskania elektretów z maksymalnie długim czasem życia i dużym ładunku powierzchniowym [4]. Pomiar TSQ, jest realizowany w komorze termicznej przy kontrolowanej, liniowo narastającej temperaturze, poprzez pomiar napięcia zastępczego $U_z(T)$ związanego z gęstością ładunku $q_s(T)$ [4].



Rys.4. Wykres krzywej TSQ dla próbki elektretowej PTFE, 25 μ m

Wyznaczenie krzywej TSQ pozwala na wyznaczenie charakterystycznych współrzędnych, koniecznych do obliczenia energii aktywacji i czasu życia [3,4]. Punkt w którym wartość mierzonego ładunku maleje o połowę (q_s ; $T_{1/2}$),

$$(1) \quad \frac{q_s(T_{1/2})}{q_s(T_o)} = \frac{1}{2}$$

wykorzystujemy do wyznaczenia energii aktywacji procesu rozładowania elektretu (2) ,

$$(2) \quad W = - \frac{k(T_{1/2})^2}{q_s(T_{1/2})} \frac{dq_s(T)}{dT}$$

gdzie: W – energia aktywacji, k – stała Boltzmana ($1,38 \cdot 10^{-23}$ J/K, q_s – efektywna gęstość ładunku próbki, $T_{1/2}$ – temperatura w której $q_s(T)$ maleje do połowy (1)

Do wyznaczenia czasu życia elektretu, wyznaczamy punkt, w którym, efektywna gęstość ładunku określona jest zależnością (3) .

$$(3) \quad \frac{q_s(T_E)}{q_s(T_o)} = \frac{1}{e}$$

gdzie:

T_E – temperatura w której efektywna gęstość ładunku q_s , zmniejsza się o wartość e, (podstawa logarytmu naturalnego),

T_o – temperatura otoczenia.

Dla określenia zależności temperaturowej czasu życia korzystamy ze wzoru (4) ,

$$(4) \quad \tau(T_S) = \frac{kT_E^2}{bW} \exp\left\{-\frac{W}{k}\right\} \left\{\frac{1}{T_S} - \frac{1}{T_E}\right\}$$

gdzie:

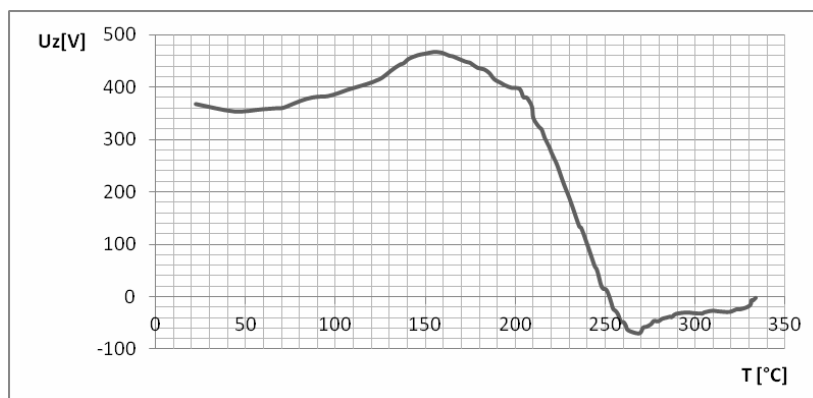
τ - czas życia elektretu w określonej temperaturze

b – współczynnik liniowego narostu temperatury,

VII Lubuska Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2012

W – energia aktywacji,
k – stała Boltzmana.

Wyznaczenie czasu życia elektretu opisaną metodą wymaga względnie krótkiego czasu, określonego czasem trwania eksperymentu. Oszacowanie tej wielkości pozwala na ocenę warunków i metody formowania elektretu. Metodę wykorzystano przy badaniu materiału PTFE w celu otrzymania elektretów z maksymalnie długim czasie życia [3].



Rys.5. Krzywa TSC otrzymana przy formowaniu elektretów w podwyższonej temperaturze

Na rys. 4 i 5 przedstawiono charakterystyczne krzywe TSC otrzymane dla próbki PTFE formowanej metodą powietrznej triody w temperaturze pokojowej (rys. 4) i w podwyższonej temperaturze (rys. 5).

Wyniki badań

Wyniki badań przeprowadzone na próbkach PTFE, wykazały istotne trudności związane z otrzymaniem elektretu przydatnego do wykorzystania go jako czujnika promieniowania jonizującego. Problemy wynikają z występowania więcej niż jednego procesu relaksacyjnego w zastosowanym dielektryku [4],

Kolejne eksperymenty potwierdziły konieczność stosowania podwyższonej temperatury podczas formowania elektretu, wstępnego odpuszczania próbki przed formowaniem celem wyeliminowania szybkich procesów relaksacyjnych występujących w dielektryku i kondycjonowania materiału po procesie formowania,

Wprowadzone zmiany pozwoliły na otrzymanie materiału elektretowego charakteryzującego się długim czasem życia co pozwala na zastosowanie go jako czujnika promieniowania jonizującego. W tabeli 1 przedstawiono uzyskane wyniki energii aktywacji i czasu życia elektretów z folii PTFE formowanych metodą powietrznej triody.

Kolejne eksperymenty potwierdziły konieczność:

- stosowania podwyższonej temperatury formowania elektretu,
- wstępnego odpuszczania próbki przed formowaniem w wysokiej temperaturze celem wyeliminowania wielu procesów relaksacyjnych występujących w dielektryku,
- kondycjonowania materiału po procesie formowania,

Wprowadzone zmiany pozwoliły na otrzymanie materiału elektretowego charakteryzującego się długim czasem życia, który możliwego do zastosowania go w rozwiązaniu technicznym czujnika promieniowania jonizującego.

Tab.1 Uzyskane parametry elektretów formowanych metodąpoietrznej triody, przy różnych temperaturach formowania

Rodzaj próbki	Energia aktywacji	Czas życia
PTFE	$\cdot 10^{-19}$ J	s
25 μ m	0,49	$3,5 \cdot 10^4$
0,5mm	0,749	$8,94 \cdot 10^6$
0,5mm	1,14	$3 \cdot 10^8$
0,1mm	1,68	$3 \cdot 10^9$

Wnioski

Badania wykazały, że na bazie folii PTFE można otrzymać elektrety o bardzo długim czasie życia, wykorzystując zmodyfikowaną metodę ulotową. Zastosowanie metody TSQ pozwoliło na szybką ocenę parametrów otrzymanych elektretów. Praca była realizowana w ramach europejskiego projektu „Czujniki i sensory do pomiarów czynników stanowiących zagrożenia w środowisku - modelowanie i monitoring zagrożeń” nr POIG.01.03.01-02-002/08 finansowanego z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego.

Literatura

1. Gubański A., Macalik B., *Bulletin of the Polish Academy of Sciences, Technical Sciences*, vol. 35 (1987), no. 9-10, 537-541.
2. B. Hilczer, J. Małecki, *Elektrety*, PWN Warszawa 1980.
3. B.Łowkis, E.Motyl, *Investigations Of The Organic Elektrets Life Time*, Institute of Electrical Engineering Fundamentals, Technical University of Wroclaw No.2-3, 1981.
4. R.Kacprzyk *Wybrane zagadnienia badania ładunku i jego zaniku w dielektrykach stałych*, Politechnika Wroclawska 2004.
5. E.Motyl, A Gubański, E. Rucki, Raport nr 1”,*Analiza dozymetrów elektretowych*”, Politechnika Wroclawska 2009.

Autor: dr inż. Adam Gubański i Jan Kupracz; Instytut Podstaw Elektrotechniki i Elektrotechnologii, Politechnika Wroclawska, ul. Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wroclaw, e-mail: adam.gubanski@pwr.wroc.pl i jan.kupracz@pwr.wroc.pl