

Właściwości piezoelektryczne niejednorodnych laminatów z polipropylenu

Abstract. *In the paper piezoelectric properties of non-uniform laminates made from polypropylene foils and polypropylene unwoven fabric have been described. The dependencies of piezoelectric coefficient d_{33} as a function of the static pressure have been presented. It was found that the relationships obtained for multilayer structures are not the same as provided by theoretical analysis.*

Keywords: piezoelectric coefficient, unwoven fabric, elasticity modulus

Wstęp

Badania nad naturą zjawiska piezoelektrycznego występującego w różnych materiałach wykazały, że może ono być wynikiem działania kilku mechanizmów [1-2]. Wśród nich wyróżnia się efekt piezoelektryczny związany z niejednorodnością własności mechanicznych struktury dielektrycznej, przy jednoczesnym występowaniu w niej ładunku przestrzennego [1-3]. Struktury niejednorodne, wykonane z dielektryków wykazujących dobre właściwości elektretowe, mogą stanowić podstawą do opracowania materiałów wykazujących silne i trwałe właściwości piezoelektryczne. Materiały takie mogą znaleźć zastosowanie w budowie wszelkiego rodzaju czujników i przetworników wykorzystywanych np. do konwersji energii z otoczenia w energię elektryczną (tzw. harvesterów). Największy wpływ na zastosowanie harwestera ma wybór odpowiedniego materiału piezoelektrycznego do jego budowy [4-5].

Analiza właściwości piezoelektrycznych dostępnych folii elektromechanicznych, jak również warstwowych struktur niejednorodnych [6-8], wskazuje na możliwość wykorzystania ich np. w konstrukcji mikrogeneratorów energii wykorzystujących ciśnienie fali akustycznej oraz naprężenia ściskające. Elastyczne folie i struktury polimerowe mogą wykazywać wartości współczynnika piezoelektrycznego (d_{33}) porównywalne do wartości otrzymywanych dla materiałów ceramicznych [7]. W zakresie niewielkich obciążeń struktury warstwowe mogą osiągać wartość współczynnika d_{33} nawet powyżej 1000 pC/N.

Potencjalne zastosowania struktur niejednorodnych [4-5] wskazują, że wymagają one określenia zależności współczynnika piezoelektrycznego od przyłożonego nacisku. To zagadnienie było przedmiotem badań opisanych w pracy.

Efekt piezoelektryczny w niejednorodnych strukturach dielektrycznych

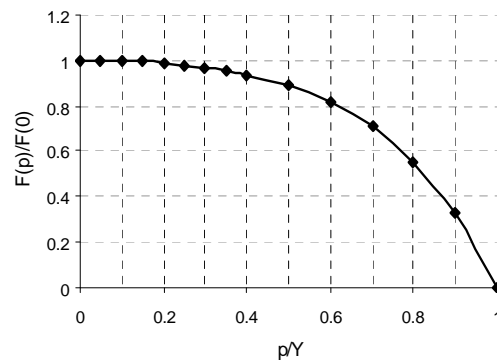
W przypadku struktury dwuwarstwowej (laminatu) poddawanej naprężeniom w kierunku normalnym do jej powierzchni, miarą efektu piezoelektrycznego jest wartość współczynnika piezoelektrycznego d_{33} określonego zależnością [7]:

$$(1) \quad d_{33} = q_s \frac{\varepsilon_1 \varepsilon_2 x_1 x_2}{\varepsilon_1 x_2 + \varepsilon_2 x_1} \left(\frac{1}{Y_2} - \frac{1}{Y_1} \right)$$

gdzie x_1, x_2 – grubości warstw, $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ – przenikalności elektryczne, Y_1, Y_2 – moduły sprężystości dla warstwy „miękkiej” (indeks 1) i „twardej” (indeks 2). q_s – powierzchniowa gęstość ładunku na interfejsie. Po uwzględnieniu założeń: $x_1=x=f(p)$ oraz $x_2=d=\text{const}$, jak również przyjmując, że zachodzi liniowa zależność pomiędzy odkształceniem Δx a naprężeniem ściskającym p (spełnione jest prawo Hooke’a) można otrzymać równanie (2) (pełna analiza jest przedstawiona w pracy [9]):

$$(2) \quad d_{33}(p) \cong \frac{q_s \varepsilon_1 d}{Y \varepsilon_2 x_0} \frac{\left(1 - \frac{p}{Y}\right)}{\left[\frac{\varepsilon_1 d}{\varepsilon_2 x_0} + \left(1 - \frac{p}{Y}\right)\right]^2} = d_{330} F(p)$$

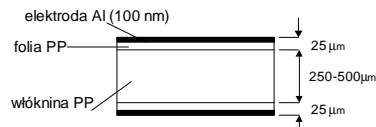
Zależność współczynnika d_{33} od ciśnienia określona jest kształtem funkcji $F(p)$. Przebieg zredukowanej wartości współczynnika d_{33} (odniesionej do wartości $d_{33}(p=0)$) jest określony przebiegiem zredukowanej wartości funkcji $F(p)/F(p=0)$. Wyznaczone wartości $F(p)/F(0)$ przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Przebieg zredukowanej wartości funkcji $F(p)/F(p=0)$

Wytwarzanie i aktywacja niejednorodnych struktur

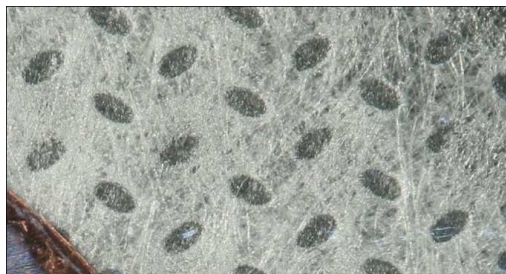
Przedmiotem badań były struktury dielektryczne o budowie: jednorodny dielektryk stały-warstwa rozproszona- jednorodny dielektryk stały (rys. 2). Warstwy zewnętrzne stanowiła folia polipropylenowa. Fazę rozproszoną, znajdującą się pomiędzy warstwami folii, tworzyła włóknina polipropylenowa o różnej strukturze i grubości (od 0.4 do 3 mm). Na rys. 2 przedstawiono szkic trójwarstwowej struktury z warstwą miękką w postaci włókniny polipropylenowej



Rys. 2. Schemat badanej struktury niejednorodnej

Warstwy dielektryczne łączono za pomocą różnych technik zgrzewania (ręczne, ultradźwiękami, przy zastosowaniu formy i prasy). Na rys. przedstawiono przykładowe zdjęcia laminatów niejednorodnych zgrzewanych za pomocą prasy.

VII Lubuska Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2012



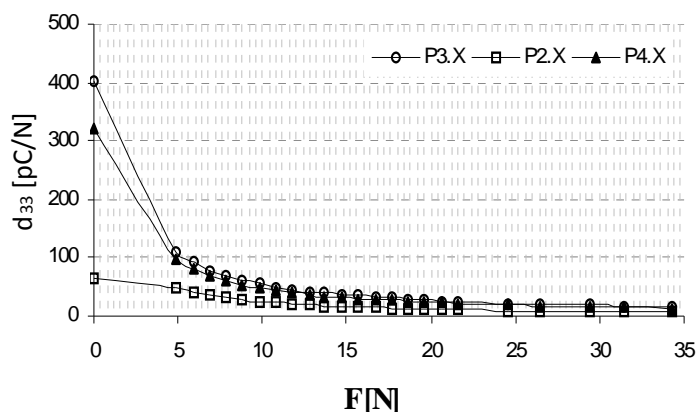
Rys.3. Przykład struktury zgrzewanej folia PP-włóknina-folia (bez elektrod)

Wytworzone warstwowe struktury dielektryczne poddawano procesowi aktywacji w celu nadania im właściwości piezoelektrycznych. Laminaty formowano metodą przebiciową (metodą wyładowań niepełnych). Metoda polegała na umieszczeniu próbek w stałym polu elektrycznym o dużym natężeniu w celu wywołania w warstwie rozproszonej wyładowań niepełnych. Wyładowania niepełne występujące w przestrzeniach powietrznych dielektryka prowadzą do ujawnienia rozkładu ładunku przestrzennego, stanowiącego podstawę piezo-aktywacji struktury - ładunek q_s , zał. (1).

Warunki polaryzacji struktur dielektrycznych dobierano zależnie od ich wymiarów geometrycznych. Czas polaryzacji przyjęto stały dla wszystkich struktur (równy 5 min). Wszystkie próbki formowano w temperaturze otoczenia (21 ± 2 °C), przy wilgotności względnej 50 ± 10 %.

Wyniki pomiarów

Piezoelektryczne właściwości wytworzonych struktur określono na podstawie pomiarów piezoelektrycznego współczynnika d_{33} . Pomiarów wykonano przy różnych obciążeniach statycznych. Przykładową zależność współczynnika d_{33} od ciśnienia statycznego przedstawiono dla kilku wybranych laminatów dielektrycznych na rys. 4.



Rys. 4. Zależność współczynnika d_{33} od wartości siły obciążenia dla różnych struktur

Wnioski

Badania otrzymanych struktur warstwowych wykazały dużą wartość współczynnika piezoelektrycznego d_{33} przy braku obciążeń statycznych (do kilkuset pC/N). Wysokie wartości d_{33} mają istotne znaczenie z punktu widzenia konstrukcji oraz warunków pracy (sprawności działania) wielkowymiarowych piezoelektrycznych przetworników energii. Wartość współczynnika d_{33} zależy silnie od obciążenia statycznego. Zależność ta nie będzie miała znaczenia w przypadku przetworników ciśnienia akustycznego, pracujących w warunkach normalnych (pod ciśnieniem atmosferycznym). Doświadczalnie potwierdzono, że struktury zgrzewane mogą stanowić podstawę opracowania wielkowymiarowych przetworników piezoelektrycznych.

Zależności $d_{33}(F)$, wyznaczone doświadczalnie dla wszystkich wytworzonych laminatów dielektrycznych wykazywały przebieg odbiegający od krzywych wyznaczonych na podstawie przesłanek teoretycznych. Przykładową zależność $d_{33}(p)$, dla struktury dwuwarstwowej przedstawiono na rys. 1. Występująca rozbieżność w przebiegu zależności $d_{33}(p)$ może wynikać z silnej zależności współczynnika sprężystości Y od ciśnienia p czy też od grubości warstwy elastycznej („miękkiej”) x . Zaznaczony problem jest przedmiotem dalszych prac.

Literatura

1. Broadhurst M.B., Malmberg C.C., Mopsik F.I., Harris W.P., Electret. Charge Storage and Transport in Dielectrics, Electrochem. Soc. New Jersey, 1973, 492.
2. Hilczer B., Małcki J., Elektrety i piezopolimery. PWN, Warszawa, 1989.
3. Jiashi Yang, Special Topics in the Theory of Piezoelectricity, SpringerScience+Business Media, LLC 2009.
4. Beeby S., White N., Energy harvesting for autonomous systems, 2010, Artech House 685 Canton Street, Norwood, MA 02062
5. Sodano R. A., Sodano H. A., A review of power harvesting using piezoelectric materials (2003-2006), Smart materials structure, v. 16, 2007, p. R1-R21.
6. Hillenbrand J., Xia Z., Zhang X., Sessler G. M., Piezoelectricity of cellular and porous Polymer Electrets, Proc. of the 11th Int. Symp. on Electrets, 1-3 Oct. 2003, Melbourne, Australia, p.46-49
7. Kacprzyk R., Motyl E., Gajewski J. B., Pasternak A, Piezoelectric properties of non-uniform electrets, J. Electrostatics, v.35,1995, p. 161-166.
8. Kacprzyk R., Piezoelectricity in porous PE foil, Proc. Int. Conf. on Advances in Processing, Testing and Application of Diel. Materials. APTADM, 2001, Wrocław, p. 146-150
9. Kacprzyk R, Właściwości piezoelektryczne polimerowych folii komórkowych, Raport I-7/SPR - 2/2002 . Instytut Podstaw Elektrotechniki i Elektrotechnologii Politechniki Wrocławskiej

Autorzy: prof. dr hab. inż. Ryszard Kacprzyk; dr inż. Anna Kisiel, Instytut Podstaw Elektrotechniki i Elektrotechnologii Politechniki Wrocławskiej, ul. Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław, e-mail: ryszard.kacprzyk@pwr.wroc.pl, anna.kisiel@pwr.wroc.pl