



Maciej JAROSZEWSKI, Janina POSPIESZNA

Politechnika Wroclawska, Instytut Podstaw Elektrotechniki i Elektrotechnologii

Wpływ udarów prądowych na zjawiska starzeniowe w ceramice warystorowej

Streszczenie. W artykule przedstawiono wpływ impulsów prądowych na właściwości elektryczne warystorów ZnO. Zjawiska starzeniowe badano metodą analizy odpowiedzi dielektrycznej w zakresie częstotliwości od 40 Hz do 10 MHz.

Abstract. (*The influence of current impulses on degradation phenomena in varistor ceramic*). This paper presents the effect of impulse current on the electrical properties of ZnO varistor. The degradation phenomena were investigated by using of analysis of the dielectric response in the frequency range from 40 Hz to 10 MHz.

Słowa kluczowe: ZnO, warystor, udar prądowy, spektroskopia dielektryczna

Keywords: ZnO, varistor, current impulse, dielectric spectroscopy

Wstęp

Warystory ZnO są polikrystalicznymi półprzewodnikami charakteryzującymi się wysoko nieliniową charakterystyką prądowo-napięciową i zdolnością wytrzymywania silnych udarów prądowych. Te właściwości warystora wykorzystuje się w urządzeniach ochrony przeciwprzepięciowej zarówno układów elektronicznych jak i elektroenergetycznych urządzeń wysokonapięciowych.

Tworzywa ceramiczne, z których wykonuje się warystory tlenkowe otrzymuje się najczęściej poprzez spiekanie tlenku cynku z dodatkiem tlenku bizmutu oraz niedużych ilości tlenków innych metali (CoO, MnO, CaO, SrO czy BaO). Mikrostrukturę takich tworzyw stanowi matryca z półprzewodnikowych ziaren ZnO otoczonych izolacyjną fazą międzyziarnową tworzoną przez użyte dodatki (najczęściej tlenek bizmutu), mające wyraźną tendencję do segregacji na granicach ziaren ZnO. Model struktury ceramiki z ZnO uwzględnia również obecność powierzchni międzyfazowych, rozdzielających ziarna od warstw międzyziarnowych. Model taki znajduje zastosowanie do opisu obserwowanych w tej ceramice efektów relaksacji dielektrycznej w postaci absorpcji i dyspersji, charakterystycznych dla polaryzacji międzywarstwowej Maxwella-Wagnera [1, 2].

Decydującą rolę w powstawaniu nieliniowego przewodnictwa elektrycznego w warystorach ceramicznych odgrywają bariery potencjału na granicach ziaren ZnO, których obecność związana jest z energetycznym i przestrzennym rozkładem stanów pułpkowych na powierzchni międzyfazowej. W trakcie eksploatacji warystor narażony jest na oddziaływanie długotrwałego obciążenia napięciem stałym lub zmiennym, oraz impulsów przepięciowych. W wyniku tych oddziaływań warystor może ulegać degradacji, której obrazem są zmiany jego charakterystyki prądowo-napięciowej J-V. Zmiany te, polegające na wzroście prądu upływowego, powodują zwiększenie wydzielanej mocy i mogą doprowadzić do zniszczenia warystora na skutek zachwiania jego równowagi cieplnej. Degradacja charakterystyki J-V zachodzi tylko w obszarze prądu upływowego i zmniejsza się ze wzrostem gęstości prądu. Wielkość degradacji rośnie ze wzrostem przyłożonego obciążenia (zarówno długotrwałego, jak i impulsowego) oraz ze wzrostem czasu oddziaływania napięcia. Charakter obserwowanych zmian degradacyjnych warystora, a przede wszystkim długotrwały przebieg tego zjawiska i jego silna aktywacja termiczna,

wskazują na ruch jonów w strukturze ceramiki z ZnO jako przyczynę degradacji. Bezpośrednim potwierdzeniem tego założenia są m. in. wyniki badań strukturalnych. Wykazały one między innymi, że w miarę postępowania degradacji następuje zmiana profilu koncentracji Bi i Co na granicy ziarna ZnO, prostopadłej do kierunku pola elektrycznego i nie zawierającej fazy ziarnowej. Na granicy równoległej do kierunku pola elektrycznego takich zmian nie obserwowano [3].

W przypadku przepływu prądu udarowego jedną z prawdopodobnych przyczyn niestabilności energetycznej struktury międzyziarnowej, powodującej zmiany elektrycznych parametrów ceramiki, jest ich nadmierne nagrzewanie. W tym przypadku obniżenie bariery potencjału i zwiększenie prądu przewodzenia identyfikuje się z dwoma głównymi mechanizmami [4]:

- elektromigracją cynku międzywęzłowego do warstwy zubożonej w wyniku chemicznej interakcji z defektami granicy międzyziarnowej formującej barierę potencjału,
- desorpcją jonów tlenu chemisorbowanych na granicach ziarna.

Tak jak w innych złączach półprzewodnikowych, pułpki objętościowe w obrębie obszaru zubożonego ziaren ZnO reagują na zewnętrzne pobudzenie elektryczne. Można sądzić, że wyjaśnienie degradacji warystorów ZnO jest związane ze zjawiskami migracji defektów objętościowych [5].

Metodyka badań

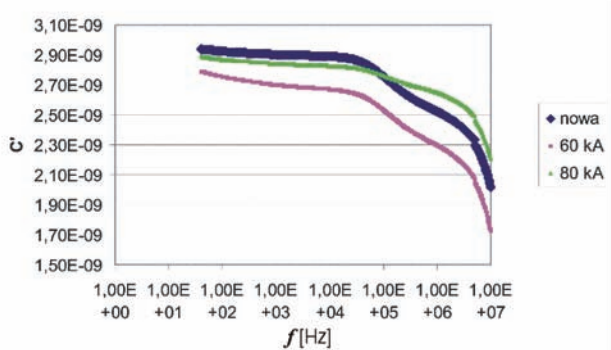
Badania wykonano na warystorach komercyjnie stosowanych w wysokonapięciowych ogranicznikach przepięć. Próbkę starzono udarami prądowymi o kształcie 4/20 μ s. Wartości szczytowe prądów udarowych ustalono na 60 kA i 80 kA.

Do badań zmian degradacyjnych w starzonych próbkach ceramiki z ZnO wybrano metodę spektroskopii impedancyjnej. Metoda ta, dając podstawowe informacje na temat zjawisk polaryzacyjnych i przewodnościowych zachodzących w materiale, ściśle związanych z ich makro i mikrostrukturą, znalazła już szerokie zastosowanie w badaniach międzyfazowych zjawisk elektrycznych w warystorowych złączach półprzewodzących. W układzie pomiarowym do analizy spektralnej odpowiedzi dielektrycznej zastosowano cyfrowy analizator impedancji Agilent 4294A, o zakresie częstotliwości pomiarowej od 40 Hz do 10 MHz.

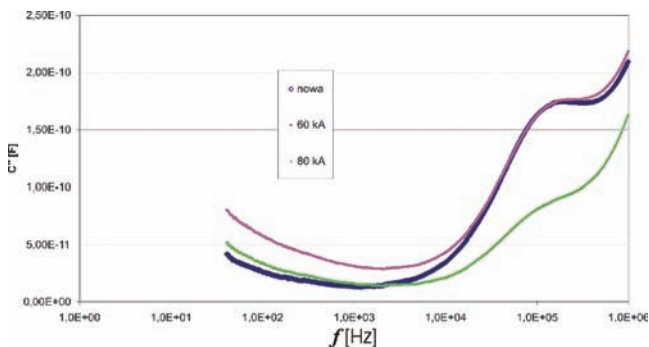
Mierzone częstotliwościowe charakterystyki admittancji zespolonej $\underline{Y}(\omega)$ (konduktancji G i susceptancji B) interpretowano za pomocą widm składowych (rzeczywistej i urojonej) pojemności zespolonej oraz wykresami Cole-Cole ($C'' = f(C')$), gdzie $\underline{C}(\omega) = \underline{Y}(\omega) / j\omega = C' - jC''$.

Wyniki badań

Na rysunkach 1 i 2 przedstawiono wyniki pomiarów widm składowej rzeczywistej i urojonej pojemności zespolonej, które obrazują degradację badanych próbek ceramiki warystorowej pod wpływem prądowych narażeń udarowych. W badanym zakresie częstotliwości widma składowej urojonej C'' ($C'' = G / \omega$) i rzeczywistej C' pojemności zespolonej wskazują na obecność stałoprądowej składowej przewodnościowej oraz conajmniej dwóch pików relaksacyjnych. Amplituda pierwszego z nich występuje przy częstotliwości 10^5 Hz. Po przyłożeniu do warystora udaru prądowego o wartości szczytowej 60 kA obserwuje się tylko wzrost stałoprądowej składowej przewodnościowej. Zwiększenie wartości szczytowej udaru prądowego do 80 kA pociąga za sobą przesunięcie pierwszego pik relaksacyjnego w stronę wyższych częstotliwości, co w konsekwencji obniża wypadkową wartość składowej urojonej pojemności zespolonej w stosunku do obserwowanej po narażeniu udarem o mniejszej wartości szczytowej (60 kA).

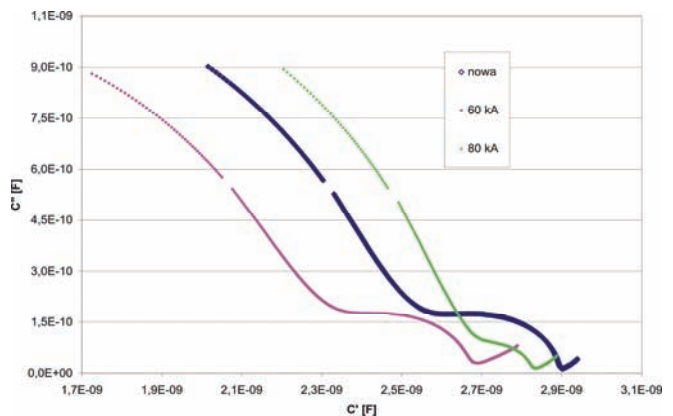


Rys.1. Widma częstotliwościowe składowej rzeczywistej pojemności zespolonej C'



Rys.2. Widma częstotliwościowe składowej urojonej pojemności zespolonej C''

Wykres Cole-Cola (rys. 3) potwierdza obecność dwóch pików relaksacyjnych oraz straty związane z rezystancją obszaru przyelektrodowego.



Rys.3. Wykres Cole-Cola

Wnioski

Wyniki badań wskazują na to, że przyczyną degradacji warystorów jest transport jonów w ich strukturze, co obrazuje zarejestrowane widmo częstotliwościowe składowej urojonej pojemności zespolonej badanych próbek. W badanym paśmie częstotliwości obserwujemy obecność stałoprądowej składowej przewodnościowej, która nieznacznie wzrasta po oddziaływaniu udarami prądowymi. Obecność piku relaksacyjnego można wiązać z gromadzeniem się ładunków na powierzchniach granicznych. Przemieszczenie się piku w stronę wyższych częstotliwości po narażeniu prądem udarowym przypisuje się zjawiskom migracji defektów objętościowych.

LITERATURA

- [1] Matsuura M., Yamaoki H., Dielectric Dispersion and Equivalent Circuit in Nonohmic ZnO Ceramics, *Japan J. Appl. Phys.*, 1977, Vol. 16, No 7, pp. 1261-1262.
- [2] Hozer. L, Półprzewodnikowe materiały ceramiczne z aktywnymi granicami ziarn, Warszawa, PWN, 1990.
- [3] Chiang Y., Kingery W.D.; Compositional changes adjacent to grain boundaries during electrical degradation of a ZnO varistors; *J. Appl. Phys.* 53(3), March 1982, pp. 1765-1768
- [4] Ivanchenko A.V., Tonkoshkur A.S., Makarov V.O.; Desorption thermal degradation model of zinck oxide ceramics; *Journal of the European Ceramic Society* 24 (2004) 3709-3712
- [5] Dogxiang Zhou, Congchun Zhang, Shuping Gong, Degradation phenomena due to dc bias in low-voltage ZnO varistors, *Materials Science & Engineering*, B99, 2003, 412-415,

Autorzy: : dr inż. Maciej Jaroszewski,

E-mail: maciej.jaroszewski@pwr.wroc.pl ;

dr hab. inż. Janina Pospieszna,

E-mail: janina.pospieszna@pwr.wroc.pl

Politechnika Wrocławska, Instytut Podstaw Elektrotechniki i Elektrotechnologii, ul. Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław