

Zjawiska dyspersyjne
i przewodnictwo elektryczne
w relaksorach, multiferroikach
i strukturach wielowarstwowych

Prace Naukowe



Uniwersytetu Śląskiego
w Katowicach
nr 3572

Ryszard Skulski

Zjawiska dyspersyjne
i przewodnictwo elektryczne
w relaksorach, multiferroikach
i strukturach wielowarstwowych

Redaktor serii: Informatyka i Inżynieria Biomedyczna
Mariusz Boryczka

Recenzent
Jan Suchanicz

Spis treści

1. Wstęp	7
2. Podstawowe pojęcia dotyczące dielektryków	9
2.1. Dipole w polu stałym	9
2.2. Dipole w polu zmiennym. Zespolona przenikalność elektryczna	12
3. Polaryzacja relaksacyjna	15
3.1. Zachowanie polaryzacji: relaksacyjne i rezonansowe	15
3.2. Zachowanie polaryzacji w polu elektrycznym sinusoidalnie zmiennym	16
3.3. Wykres Cole'a—Cole'a	20
3.4. Zależność czasu relaksacji od temperatury	21
3.5. Wiele czasów relaksacji	22
3.6. Dwa czasy relaksacji	23
3.7. Ciągły rozkład czasów relaksacji	24
3.8. Równanie Havriliaka—Negami	27
3.9. Funkcje rozkładu czasów relaksacji w relaksorach	28
4. Polaryzacja rezonansowa	33
4.1. Drgania naładowanych cząsteczek w jednym wymiarze	33
4.2. Rodzaje (mody) drgań w jednowymiarowej sieci krystalicznej	36
4.3. Elementy teorii dynamicznej ferroelektryków	39
4.4. Dynamika relaksorów	46
5. Zjawiska dyspersyjne w ceramice ferroelektrycznej	49
5.1. Relaksacja ładunku przestrzennego spowodowana defektami powstającymi podczas spiekania	49
5.2. Relaksacja przenikalności elektrycznej związana ze ścianami domenowymi	50
5.3. Relaksacja przenikalności elektrycznej na wysokich częstotliwościach	50
6. Multiferroiki, multirelaksory i birelaksory	51
6.1. Multiferroiki — ogólne pojęcia	51
6.2. Multirelaksory i birelaksory — ogólne pojęcia	53
7. Dyspersja a przewodnictwo zmiennoprądowe	57
7.1. Uwagi ogólne	57

7.2. Dyspersja i przewodnictwo zmiennoprądowe w roztworach stałych o właściwościach ferroelektrycznych i relaksorowych	58
7.3. Zjawiska dyspersyjne i przewodnictwo zmiennoprądowe w multiferroikach	61
8. Dyspersja niskoczęstotliwościowa w silnych polach elektrycznych	67
8.1. Uwagi ogólne.	67
8.2. Dyspersja w silnych polach elektrycznych w ceramice PMN-PT	67
9. Zjawiska dyspersyjne w strukturach wielowarstwowych	71
9.1. Uwagi ogólne	71
9.2. Kondensatory MLCC	71
9.3. Zjawiska dyspersyjne w kondensatorach MLCC	72
10. Materiały z kolosalną przenikalnością elektryczną	75
11. Wpływ technologii otrzymywania na zjawiska dyspersyjne w wybranych materiałach o właściwościach ferroelektrycznych i relaksorowych	77
11.1. PMN-PT	77
11.2. Kompozyty ceramiczne PMN-PT-ferryt	81
11.3. Wieloskładnikowe roztwory stałe do zastosowań w kondensatorach MLCC	85
Spis literatury	87
Summary	93

1

Wstęp

Powszechnie wiadomo, że pod pojęciem dyspersji rozumie się zależność jakiejś wielkości od częstotliwości pola pomiarowego. Tą wielkością może być na przykład przenikalność elektryczna. Niniejsza praca dotyczy zjawisk dyspersyjnych, jakie zachodzą w ferroelektrykach, relaksorach i multiferroikach. Autor starał się pokazać różne aspekty tego zagadnienia w wymienionych materiałach. Wiele fragmentów tej pracy powstało podczas realizacji kilku tematów badawczych (grantów), którymi kierował autor podczas ostatnich kilkunastu lat. Rezultaty badań części materiałów były już opublikowane w cytowanych pracach. Wybór poddanych analizie materiałów może wydawać się dość subiektywny, jednak aby przedstawić aspekty tytułowego zagadnienia, konieczne było jego ograniczenie.

Rozdziały 2—4 przedstawionej pracy dotyczą podstawowych definicji używanych do opisywania zjawisk dyspersji przenikalności elektrycznej w dielektrykach różnego rodzaju, rozdział 5. traktuje o zjawiskach dyspersyjnych w ceramikach ferroelektrycznych, a w rozdziale 6. zaprezentowano podstawowe pojęcia związane z multiferroikami, multirelaksorami i birelaksorami. Tematem rozdziału 7. jest relacja między dyspersją przenikalności elektrycznej a przewodnictwem zmiennoprądowym. W rozdziale 8. omówiono zagadnienia niskoczęstotliwościowej dyspersji w silnych polach elektrycznych, rozdział 9. natomiast dotyczy zjawisk dyspersyjnych w strukturach wielowarstwowych, ze szczególnym uwzględnieniem wielowarstwowych kondensatorów ceramicznych (MLCC). W rozdziale 10. omówiono zagadnienia związane z grupą materiałów, w których występuje zjawisko zwane kolosalną przenikalnością elektryczną. Rozdział 11. traktuje o zagadnieniach relacji między zjawiskami dyspersyjnymi a technologią materiałów ceramicznych.

Ryszard Skulski

Dispersion and Electrical Conductivity Phenomena
in Relaxors, Multiferroics, and Multilayer Structures

Summary

The phenomenon of ferroelectricity was discovered less than 100 years ago and a rapid increase in the group of ferroelectrics has been discernible since the 1950s. Among them, an important place is occupied by ferroelectrics with perovskite structure and their solid solutions. A group of materials that is very close to ferroelectrics are the so-called relaxors and relaxor ferroelectrics, which are characterized by exceptional application properties. Multiferroics and multilayer structures are another group of materials with specific application qualities; in these materials, the phenomenon of ferroelectricity plays an important role. For application reasons (lower cost), these materials are often produced in the ceramic form.

The subject matter of the present monograph is the aforementioned group of materials, i.e. relaxors, multiferroics, and multilayer structures in the ceramic form. The work attempts to systematize and complete the knowledge of these materials, including the phenomena (effects) occurring in them. Moreover, it provides a review of literature published on this subject over many years.

Redakcja
Magdalena Starzyk

Projekt okładki
Paulina Dubiel

Redakcja techniczna
Barbara Arenhövel

Korekta
Lidia Szumigala

Łamanie
Edward Wilk

Copyright © 2017 by
Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego
Wszelkie prawa zastrzeżone

ISSN 0208-6336
ISBN 978-83-226-3049-5
(wersja drukowana)

ISBN 978-83-226-3050-1
(wersja elektroniczna)

Wydawca
Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego
ul. Bankowa 12B, 40-007 Katowice
www.wydawnictwo.us.edu.pl
e-mail: wydawus@us.edu.pl

Wydanie I. Ark. druk. 6,0. Ark. wyd. 7,0.
Papier offset. III kl., 90 g. Cena 20 zł (+ VAT)

Druk i oprawa
„TOTEM.COM.PL Sp. z o.o.” Sp.K.
ul. Jacewska 89, 88-100 Inowrocław