

Nieliniowe właściwości dielektryczne wybranych kryształów ferroicznych



NR 2688

Seweryn Miga

**Nieliniowe właściwości dielektryczne
wybranych kryształów ferroicznych**

Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego



Katowice 2009

Redaktor serii: Fizyka
Władysław Borgiel

Recenzenci
Zbigniew Czapla, Czesław Pawlaczyk

Publikacja będzie dostępna — po wyczerpaniu nakładu — w wersji internetowej:

Śląska Biblioteka Cyfrowa
www.sbc.org.pl

Spis treści

1. Wstęp	7
2. Krysztály ferroiczne	9
2.1. Ferroelektryki	11
2.2. Relaksory ferroelektryczne	14
3. Materiały „sprytne”	18
4. Termodynamiczny opis procesu polaryzacji elektrycznej	20
5. Metoda pomiarowa	25
5.1. Analiza harmoniczna prądu przesunięcia	27
5.2. Układ pomiarowy	31
5.3. Procedura pomiarowa	32
5.4. Dobór warunków pomiaru	36
6. Nieliniowe właściwości dielektryczne wybranych materiałów	39
6.1. Siarczan trójglicyny	39
6.2. Germanian ołowiu	44
6.2.1. Germanian ołowiu niedomieszkowany	44
6.2.2. Germanian ołowiu domieszkowany barem	49
6.3. Tytanian baru	53
6.4. Niobian strontowo-barowy (SBN)	55
6.4.1. SBN niedomieszkowany	56
6.4.2. SBN domieszkowany chromem	63
6.4.3. SBN domieszkowany sodem	66
6.5. PMN	73
6.6. PLZT	76

7. Podsumowanie	81
8. Zakończenie	86
9. Próbkki	87
Bibliografia	88
Summary	93
Резюме	94

No phase transition can take place without the effect of nonlinearity.
(Przejście fazowe nie może zajść bez efektu nieliniowego)

Yoshihiro Ishibashi, 1998

1. Wstęp

Polaryzacja P dielektryka znajdującego się w silnym polu elektrycznym E może nie być liniową funkcją natężenia pola elektrycznego, lecz zależy także od wyższych potęg natężenia tego pola [1, 2]. Oznacza to, że podatność elektryczna χ dielektryka zależy od natężenia pola elektrycznego. Zjawisko to nazwano nieliniowym efektem dielektrycznym (NDE). Badania nieliniowych właściwości dielektryków rozpoczęto przed prawie stu laty. Zaobserwowano wówczas zmianę podatności elektrycznej gazów pod wpływem przyłożonego stałego pola elektrycznego [3]. Następnie zjawisko to zaczęto badać również w cieczach [4]. Badania NDE mogą być źródłem informacji o oddziaływaniach między drobinami i dynamice drobin [2]. Także w ciałach stałych obserwuje się zależność podatności elektrycznej od natężenia pola elektrycznego. W przypadku ferroelektryków może się ona uwidocznić nawet w postaci ferroelektrycznej pętli histerezy [5]. Dzięki analizie wpływu pola elektrycznego na podatność elektryczną lub polaryzację ferroelektryków możliwe jest wyznaczanie parametrów elektrycznego równania stanu opisującego badany układ [6]. Znajomość tych parametrów pozwala na stwierdzenie ciągłego lub nieciągłego charakteru ferroelektrycznego przejścia fazowego zachodzącego w badanym ferroelektryku [7]. W przypadku ciągłego ferroelektrycznego przejścia fazowego można ponadto wyznaczyć wykładniki krytyczne i tym samym określić, do jakiej klasy uniwersalności należy badany materiał [8, 9]. Efekty nieliniowe występują szczególnie silnie w otoczeniu przejść fazowych. Z tego powodu ich badanie przyczynia się do poznania natury tych przejść. Badanie nieliniowej odpowiedzi dielektrycznej może również służyć do eksperymentalnego testowania poprawności modeli teoretycznych, wyjaśniających właściwości ferroelektrycznych relaksorów [10]. Nieliniowa odpowiedź dielektryczna może ponadto zawierać informacje o symetrii badanego układu. W szczególności dotyczy ona występowania środka symetrii sieci krystalicznej badanego materiału lub jego braku [1].

Z przytoczonego tu krótkiego przedstawienia efektów nieliniowych wynika, że analiza nieliniowej odpowiedzi dielektrycznej jest niezwykle interesująca z poznawczego punktu widzenia. Należy również wspomnieć, że nieliniowe właściwości dielektryków znajdują liczne zastosowania praktyczne. Nieliniowe dielektryki są stosowane we wzmacniaczach małych sygnałów [11], mogą być również używane do budowy układów pamięci o gęstości zapisu danych wynoszącej nawet $1,5 \text{ Tbitcal}^{-2}$ [12, 13]. Podstawowym jednak zastosowaniem nieliniowych dielektryków jest konstrukcja radiowych i mikrofalowych podzespołów elektronicznych, przestrajanych stałym polem elektrycznym, takich jak: waraktory, oscylatory, filtry i przesuwniki fazowe [14—18].

Pierwszym celem niniejszej pracy jest zaprezentowanie oryginalnej metody pomiarowej, umożliwiającej równoczesne wyznaczenie zarówno zespolonej liniowej podatności elektrycznej, jak i zespolonych nieliniowych podatności elektrycznych wyższych rzędów. Pomiar zespolonych podatności, a nie tylko ich modułów pozwala na wyznaczenie znaków składowych podatności. Na podstawie znaku części rzeczywistej nieliniowej podatności elektrycznej trzeciego rzędu w fazie paraelektrycznej możliwe jest stwierdzenie, czy obserwowane ferroelektryczne przejście fazowe ma ciągły, czy też nieciągły charakter. Kolejnym celem pracy jest prezentacja i porównanie nieliniowych właściwości dielektrycznych wybranych materiałów ferroicznych. Przedstawiono i porównano właściwości ferroelektryków, w których występują ciągłe lub nieciągłe ferroelektryczne przejścia fazowe, i ferroelektrycznych relaksorów. Spośród relaksorów wybrano do badań zarówno relaksory kanoniczne, czyli takie, w których nie występuje spontanicznie makroskopowe strukturalne przejście fazowe, jak i takie, w których spontaniczne przejście fazowe ma miejsce [19].

Pragnę podziękować Panu prof. dr. hab. Janowi Decowi za owocną współpracę i stymulujące dyskusje. Wdzięczny jestem również Panu dr. hab. Antoniemu Kani za pomoc i liczne dyskusje podczas przygotowywania rozprawy. Szczególne podziękowania za cenne uwagi pragnę złożyć Recenzentom Panom prof. dr. hab. Zbigniewowi Czapl i prof. dr. hab. Czesławowi Pawlaczykowi.

Praca naukowa częściowo finansowana ze środków na naukę jako projekt badawczy nr N N507 455034.

Seweryn Miga

Nonlinear dielectric properties of selected ferroic crystals

Summary

The development of modern electronics bases on the usage of the materials of refined properties. One of the group of materials displaying such properties are smart materials. In contrast to traditional materials, the smart ones change their properties under the influence of external forces. Owing to that, they simultaneously perform the function of a sensor and actuator. The sine qua non of having such properties is the appearance of nonlinear effects.

The work involves the results of measurements and analyses of nonlinear dielectric properties of a wide range of ferroic crystals. The nonlinear properties of ferroelectrics with continuous or discontinuous ferroelectric phase transitions and ferroelectric relaxors were presented and compared. Among relaxors both canonic relaxors, i.e. the ones in which a spontaneous macroscopic structural phase transition does not take place, and those in which spontaneous phase transitions do occur were considered. The results obtained for ferroelectric crystals confirmed the assumptions of the mean field theory of ferroelectric phase transitions. What was observed was the change of the sign of a third order nonlinear dielectric susceptibility during the continuous ferroelectric phase transition. Such a change was not detected in the case of the discontinuous phase transition. Also, the signs of a third order nonlinear electric susceptibility in respective phases complied with theoretical assumptions. However, in the case of a canonic PMN relaxor the existence of a discrepancy of an a_3 nonlinear coefficient in the freezing temperature was denied. Such a discrepancy resulted from the expectations of the SRBRF model.

The work also showed how the analysis of nonlinear dielectric properties makes it possible to determine the nature of ferroelectric phase transitions.

Besides, an original dynamic method and measurement system allowing for measuring complex nonlinear dielectric susceptibilities is presented.

Северин Мига

Нелинейные диэлектрические особенности избранных ферроичных кристаллов

Резюме

Развитие современной электроники опирается, среди прочего, на использование материалов с очень специфическими характеристиками. Одну из групп таких материалов составляют «умные» материалы (англ. smart materials). В противоположность традиционным материалам, они изменяют свои свойства под влиянием внешних воздействий. Благодаря этому они могут одновременно выполнять функцию сенсора и исполнительного элемента. Обязательным условием наличия таких особенностей являются нелинейные эффекты.

Работа включает результаты измерений и анализа нелинейных диэлектрических свойств широкой группы ферроичных кристаллов. В исследовании представлены и сравнены особенности сегнетоэлектриков, в которых наблюдаются I рода или II рода сегнетоэлектрические фазовые переходы, а также сегнетоэлектрических релаксоров. Среди релаксоров для анализа были выбраны как канонические, т.е. такие, в которых не появляются спонтанно макроскопические структурные фазовые переходы, так и такие, в которых спонтанный переход имеет место. Результаты, полученные для сегнетоэлектрических кристаллов, подтвердили предположения теории среднего поля сегнетоэлектрических фазовых переходов. Было замечено изменение знака нелинейной электрической восприимчивости третьего порядка во время сегнетоэлектрического фазового перехода II рода. Знаки в отдельных фазах нелинейной электрической восприимчивости третьего порядка также соотносились с теоретическими гипотезами. Вместе с тем в случае канонического релаксора PMN было оспорено существование расхождений коэффициента нелинейности a_3 в температуре замерзания. Такое расхождение вытекало из предположений модели SRBRF.

Кроме того, в исследовании показано, каким образом анализ нелинейных диэлектрических свойств делает возможным определение характера сегнетоэлектрических фазовых переходов.

В работе также представлены оригинальный динамический метод и измерительная система, дающая возможность произвести измерения комплексных нелинейных электрических восприимчивости.

Redaktorzy
Barbara Todos-Burny
Grażyna Wojdała

Projektant okładki
Paulina Tomaszewska-Ciepły

Redaktor techniczny
Barbara Arenhövel

Korektor
Lidia Szumigala

Copyright © 2009 by
Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego
Wszelkie prawa zastrzeżone

ISSN 0208-6336
ISBN 978-83-226-1838-7

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. Przekazano do łamania w lutym 2009 r. Podpisano do druku w kwietniu 2009 r. Papier offset. kl. III, 90 g

Cena 11 zł

Łamanie: Pracownia Składu Komputerowego
Wydawnictwa Uniwersytetu Śląskiego
Druk i oprawa: D&D Sp. z o.o.
ul. Moniuszki 6, 44-100 Gliwice