ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ

Seria: MATEMATYKA-FIZYKA z. 30

Nr kol. 560

Mirosław ŁOPOSZKO Aleksandar OPILSKI Żygmunt SUROWIAK

WPŁYW POLA PRZEPOLARYZOWUJĄCEGO NA HISTEREZĘ ELEKTRYCZNĄ WARSTW Batio,

> <u>Streszczenie</u>. W artykule tym przedstawiono wyniki badań dotyczęce wpływu natężenia oraz częstotliwości pola przepolaryzowującego na histerezę elektryczną warstw BaTiO₃ o grubości od 50 - 75 µm. Stwierdzono, że zmiany częstotliwości oraz natężenia pola elektrycznego wywiersją bardzo silny wpływ na wartości polaryzacji spontanicznej oraz pola koercji badanych układów metal – warstwa ferroelektryczna – metal.

1. WPROWADZENIE

Materiały ferroelektryczne, których typowym przedstawicielem jest tytanian baru, są dielektrykami nieliniowymi, a zależność ich polaryzacji od natężenia zmiennego pola przepolaryzowującego (pomiarowego) przedstawia pętla histerezy dielektrycznej. Badania pętli histerezy dielektrycznej dają wiele informacji o procesach przepolaryzacji i innych specyficznych własnościach materiałów ferroelektrycznych. Kształt pętli histerezy charakteryzuje wprawdzie materiał ferroelektryczny, lecz zależy także od amplitudy i częstotliwości przyłożonego sinusoidalnego pola elektrycznego. Jako pierwszy Janta [1] otrzymał teoretyczne zależności wiążące procesy przepolaryzacji z amplitudą i częstotliwością przyłożonego pola elektrycznego. Były one zgodne zarówno z wcześniejszymi pracami Landauera [2], który otrzymał związek P[E] opierając się na założeniach empirycznych jak i z wynikami licznych prac eksperymentalnych.

Warstwy ferroelektryczne charakteryzują się szeregiem osobliwości w porównaniu z własnościami materiału wyjściowego, z którego zostały sporządzone. W niniejszej pracy przedstawiono rezultaty badań dotyczących wpływu częstotliwości (ν) i amplitudy pola pomiarowego (E_0) na pole koercji (E_c) i polaryzację spontanicznę (P_s) warstw BaTiO₃, otrzymanych metodą elaktroforezy, na platynowym podłużu. Badania prowadzono na warstwach o grubości 50÷75 µm w polach pomiarowych o częstotliwości od 20 Hz do 10 kHz Stwierdzono występowanie pewnych osobliwości w przebiegach $1/E_c = f(\ln\nu)$ oraz $P_s = f(E_c)$.

2. TECHNOLOGIA WARSTW I METODYKA BADAŃ

Warstwy BaTiO₃ nanoszono na platynowe podłoże metodą elektroforezy według technologii opisanej w pracy [3] przy zachowaniu następujących warunków:

- a. Zawiesina elektroforetyczna składała się z 25 ml acetonu i 210 mg proszku BaTiO,.
- b. Odległość między platynowymi elektrodami wynosiła 1 cm, przy stałym napięciu 230 V.

O grubości warstw decydował przede wszystkim czas pierwszego osadzania, który zmieniany był w zakresie 1-3 minut. W celu uzyskania własności ferroelektrycznych tak otrzymanych warstw i podwyższenia ich wytrzymałości mechanicznej, spiekano je w temperaturze 1200°C przez 2 godziny. Spieczone warstwy poddano powtórnej elektroforezie w czasie 30 sekund i spiekano przez 1 godzinę w 1300°C. Następnie poddano elektroforezie po raz trzeci przez 30 sekund i ostatecznie spieczono w 1350°C przez godzinę.

Strukturę polikrystalicznych warstw po wypaleniu badano metodę rentgenowską na dyfraktometrze typu DRON 1,5. Identyfikacja linii dyfraktogramów (wg tablic ASTM) wykazała, że otrzymane warstwy miały w temperaturze pokojowej idealną strukturę tetragonalną.

Po stronie przeciwnej do podłoża na każdą z warstw BaTiO₃ naniesiono po sześć elektrod w kształcie kół, o średnicy około 2,5 mm. Zastosowano elektrody srebrne i aluminiowe, nanoszone przez naparowanie metalu w próżni oraz srebro naniesione metodę natrysku pasty srebrnej schnącej na zimno. Otrzymano w ten sposób szereg niesymetrycznych układów Pt – warstwa BaTiO, – metal, o różnej grubości.

Grubości warstw mierzone były za pomocą mikroskopu metalograficznego i profilometru i zawierały się w granicach 50÷75 m.

Do pomiarów przenikalności i tgő stosowano mostek pojemności BM-400G firmy Tesla, który po niewielkiej przeróbce częstości elektronicznej pozwalał na płynną regulację amplitudy napięcia pomiarowego. Pomiary prowadzono przy polu pomiarowym o stałym natężeniu 200 V/cm i częstotliwości 800 Hz. Stabilizację temperatury z dokładności ± 0,05°C zapewnił specjalny układ elektroniczny.

Pętle histerezy elektrycznej otrzymywano na ekranie oscyloskopu BM-450 za pomocę układu mostkowego Diamanta [4], sprzężonego ze specjalnym zasilaczem programowanym i woltomierzem cyfrowym V-530. Zasilacz mostka pozwalał na ciągłę zmianę amplitudy sinusoidalnie zmiennego pola pomiarowego oraz skokową zmianę częstotliwości, co 10 Hz, w zakresie 10 Hz ± 10 kHz. Zaletami stosowanego układu była, prócz możliwości zmiany częstotliwości pola przy pomiarach, także możliwość elektronicznego odczytu parametrów pętli histerezy wprost na ekranie oscyloskopu, co znacznie skracało czas i poprawiało dokładność pomiarów.

3. WYNIKI POMIARÓW I ICH OMÓWIENIE

3.1. Pomiar przenikalności elektrycznej (E) i tengenas kata atrat (tgS)

W celu określenia własności dielektrycznych otrzymanych warstw, zbadano zależności £ i tgő od temperatury. Wartości mierzonych parametrów, dla próbek o różnych elektrodach i grubościach, przedstawia tabela 1. Wyniki zestawione w tej tabeli dotyczą warstw odmłodzonych termicznie przez 30 minut w temperaturze 160°C otrzymane w cyklu chłodzenia, przy polu pomiarowym o amplitudzie 200 V/cm i częstotliwości 800 Hz.

Tabela 1

Rodzaj elektrod	Grubość warstwy [µm]	8		tg8x10 ⁻³ w	TPol
		25 ⁰ C	Ta	25°C	, c [c]
Pt-Ag (naparow.)	74	710	2000	40	124
Pt-Ag (naparow.)	51	520	1480	17	126
Pt-Al (naparow.)	56	650	1720	19,5	124
Pt-Al (naparow.)	53	600	1610	18	125
Pt-Ag (natrysk)	.60	540	1220	39	124
Pt-Ag (natrysk)	53	450	1030	37	124

Podstawowe parametry dielektryczne warstw BaTid,

Na rysunkach 1 i 2 przedstawiono najbardziej charakterystyczne przebiegi $\dot{z} = f(T)$ i tg $\delta = f(T)$ w wyżej opisanych warunkach pomiarowych. Dla wszyatkich badanych warstw, niezależnie od materiału elektrod i grubości stwierdzono występowanie maksimum w zależności $\mathcal{E}(T)$, przy temperaturach 124 -- 125°C oraz rozmycie "piku", co jest charakterystyczne dla cienkich warstw ferroelektrycznych osadzonych na podłoża, Rodzaj elektrod i grubość warstwy wpływają natomiast silnie na wartość E, zarówno w temperaturze pokojowej, jak i w okolicach punktu Curie. Dla warstw o porównywalnych grubościach najwyższe wartości & otrzymujemy dla elektrody Al naparowanej w próżni a najniższe dla elektrody Ag naniesionej metodę natrysku pasty na zimno (tabela 1). W przypadku jednakowych elektród warstwy cieńsze charakteryzują się zawsze niższymi wartościami 😕. Badania wytrzymałości cienkich warstw BaTiO, na przebicie elektryczne oraz wpływu czasu na stałość parametrów elektrycznych, prowadzone przez kilka miesięcy, wykazały, że z wszystkich rodzajów badanych elektrod najbardziej optymalne jest stosowanie elektrody aluminiowej, naparowanej w próżni,

Zależność tg δ od temperatury posiada maksima dla temperatur nieco niższych od T_c, przy czym są one najsłabsze dla warstw z elektrodami Ag (natrysk na zimno), a najsilniejsze dla układów Pt-BaTiO₃-Al (naparowane). Przy dalszym podwyższaniu temperatury wartość tg δ gwałtownie maleje osiągając nieco powyżej punktu Curie minimum, po czym w fazie paraelektrycz-

nej bardzo silnie rośnie. Dla warstw BaTiO₃ o jednakowych elektrodach wyższe straty w całym zakresie temperatur wykazuję próbki o większej grubości (rys. 2), co jest efektem przeciwnym do obserwowanego w litych ceramikach BaTiO₃. Straty dielektryczne są w fazie ferroelektrycznej głównie stratami na przepolaryzowanie i określone są przez powierzchnię pętli histerezy. Ze wzrostem temperatury, przy około 90°C, rośnie przewodnictwo elektryczne próbek, co powoduje wzrost tgó. W pobliżu temperatury Curie maleją jednak silnie straty związane z histerezą, ponieważ maleje pole koercji oraz P₈ i dlatego mimo wzrostu strat na przewodnictwo elektrycznej wartość tgó maleje. Silny wzrost strat w fazie pareelektrycznej związany jest ze wzrostem przewodnictwa elektrycznego warstwy.

3.2. Zależność pola koercji od częstotliwości i amplitudy sinusoidalnego pola przepolaryzowującego

Badano zależność E_c od częstotliwości pola przepolaryzowującego w przedziałe 20 Hz \pm 10 kHz, stosując kolejno pola o amplitudach 8, 10, 12 i 14 kV/cm. W niniejszej pracy uwzględniono wyniki dla czterech charakterystycznych temperatur': 40, 90, 110 i 130°C. Stwierdzono, że pętla histerezy dielektrycznej warstw BaTiO₃ zanikała dopiero przy 150-160°C, zależnie od grubości warstwy i rodzaju elektrod, jednak z uwagi na silne jej zniekształcenie w wysokich temperaturach, pomiar P_s i E_c praktycznie był możliwy do około 130-140°C. Fakt ten świadczy niewątpliwie o występowaniu w wa stwach BaTiO₃ fazy tetragonalnej powyżej punktu Curie, który to punkt rozumiany jest jako maksimum funkcji $\varepsilon(T)$.

Na rysunkach 3a, b, c, d przedstawiono zależności $1/E_c = f(lnyY)$ dla warstwy BaTiO₃ o grubości 74 µm z naparowaną elektrodą srebrną, a na rysunkach 4a, b, c, d dla warstwy o grubości 53 m z elektrodą aluminiową.

Stwierdzono, że w temperaturze 40°C wszystkie badane warstwy wykazywały wzrost E_c z częstotliwością. Najsilniej zależność ta występuje dla amplitudy E_o = 8 kV/cm. Zależność 1/E_c = f(ln?) jest linią prostą jedynie dla warstwy z elektrodą Al o grubości 53 μ m (rys. 4a). W pozostałych przypadkach przebieg nie jest liniowy. Pola aktywacji, obliczone analogicznie jak w pracy [5] z nachylenia prostej 1/E_c = f(ln?) (rys. 4a), wynoszą:

dla E₀ = 8 kV/cm - α = 20 kV/cm, dla E₀ = 14 kV/cm - α = 35 kV/cm.

Wartości te są wyższe od wartości pola aktywacji otrzymanej przez Wiedera [5] dla monokryształów BaTiO_z i wynoszącej 10 kV/cm.

Dla temperatur 90, 110 i 130° C obserwuje się anormalne przebiegi 1/E_c = f(lnv). Dla niskich częstotliwości E_c spada ze wzrostem częstotliwości i dopiero powyżej pewnej częstotliwości następuje wzrost pola koercji. Ze wzrostem temperatury anomalia ta staje się wyraźniejsza, co oznacza, że typowy wzrost pola koercji z częstotliwością zaczyna się od wyższej częstotliwości. Stwierdzono, że dla badanych próbek w temperaturze T = 90° C

8'

Wpływ pola przepolaryzowującego na histerezę...

wzrost E rozpoczyna się od 200-300 Hz, dla T = 110° C od 500-1000 Hz, a dla T = 130° C pole koercji zaczyna wzrastać dopiero od 1-2 kHz.

Zależności 1/E_c = f (ln ν) dla monokryształów BaTiQ₃ mają charakter liniowy [1, 2, 5]. W przypadku badanych cienkich warstw podobne przebiegi stwierdzono tylko do temperatury 40°C, niezależnie od grubości warstwy i amplitudy E₀. Liniowa zależność 1/E_c = f(ln ν), otrzymana teoretycznie przez Jantę [1], wynika z rozważań opartych na założeniu, że przyłożone pola mają amplitudę E₀ = 2 E_c, a więc praktycznie niewielką i zmieniającą się ciągle ze zmianą częstotliwości. W niniejszej pracy stosowano pola pomiarowe o wiele silniejsze i o stałej amplitudzie, co także może powodować odstępstwa od liniowości w przebiegach 1/E_c = f(ln ν).

We wszystkich temperaturach najsilniejsze zmiany E_c z częstotliwością obserwuje się dla pół o amplitudach 8 kV/cm, a najsłabsze dla pół 14 kV/cm, Według Landauera [2] wartość poła koercji zależy, przy ustalonej temperaturze, od prędkości wzrostu poła przepolaryzowującogo. Wzrost tej prędkości, a stąd wzrost poła koercji, można zrealizować przez zwiększenie amplitudy lub częstotliwości przyłożonego napięcia. Dla pół o wyższej amplitudzie mniejsze znaczenie mają zmiany częstotliwości poła, wobec tego zmiany E_c z częstotliwością są silniejsze dla pół o niższej amplitudzie.

Anomalne przebiegi $1/E_c = f(ln\nu)$, obserwowane w temperaturach 90-130⁰C mogą być tłumaczone wzrostem przewodnictwa elektrycznego warstw, wpływającego na prędkość przepolaryzowania następująco:

- Z powodu wzrostu liczby nośników swobodnych zwiększa się możliwość ekranowania P_s przez ładunki swobodne, co powoduje wzrost pola koercji. Jednak ze wzrostem częstotliwości pola przepolaryzowującego ekranowanie to zmniejsza się, ponieważ ładunki poruszają się zbyt wolno w porównaniu z coraz szybszymi zmianami pola elektrycznego. Powoduje to zmniejszanie pola koercji ze wzrostem częstotliwości.
- Proces przepolaryzowania wymaga pewnego czasu. Ze wzrostem częstotliwości pola przepolaryzowującego rośnie pole koercji, gdyż do odwrócenie polaryzacji w krótszym czasie konieczne jest pole o większym stężeniu.

Mierzona wartość E_c jest zdeterminowana obydwoma czynnikami. Dla częstotliwości niższych, dopóki wpływ przewodnictwa elektrycznego powodujący obniżenie pola koercji ze wzrostem częstotliwości jest dominujący, obserwuje się spadek E_c z częstotliwością. Jednak od pewnej częstotliwości silniejszy staje się wpływ drugiego procesu i E_c rośnie ze wzrostem częstotliwości pola elektrycznego. Im wyższe jest przewodnictwo elektryczne próbki tym silniejszy staje się wpływ drugiego czynnika i E_c rośnie ze wzrostem częstotliwości pola elektrycznego. Równocześnie, im wyższe jest przewodnictwo elektryczne warstw, tym wyższa jest częstotliwość "graniczna", od której E_c zaczyna rosnąć. Tłumsczy to wyższe wartości częstotliwośc "granicznej" w wyższych temperaturach, dla których przewodnictwo warstw jest większe (rys. 3c d oraz 4b c d). Otrzymane rezultaty nie zależą od materiału elektrod ani od grubości warstw BaTiO_z. Dla różnych układów me-

tal – ferroelektryk – metal otrzymano różne wartości E_c , ale charakter zależności 1/ E_c = f(lnv) pozostawał taki sam.

Zależność E_c od amplitudy pola przepolaryzowującego (E_o) dla wybranych częstości przedstawiają rysunki 5a b. Wykresy zależności $E_c = f(E_o)$ są liniami prostymi lub też nieznacznie odbiegają od przebiegu liniowego. Niezależnie od częstotliwości obserwuje się wzrost E_c ze wzrostem amplitudy pola elektrycznego, co jest zgodne z danymi dotyczącymi monokryształów BaTiO₃. W temperaturach do 40^oC dla ustalonej E_o , pole koercji jest większe dla wyższych częstotliwości pola przepolaryzowującego.Prawidłowość ta zanika w temperaturach wyższych.

Wpływ E_o na wartość pola koercji maleje ze wzrostem częstotliwości pola przepolaryzowującego (rys. 5a,b). Obserwuje się to zarówno w niskich jak i wysokich temperaturach, co zgodne jest z koncepcją Landauera [2].

Typowe zależności pola koercji warstw BaTiO₃ od temperatury dla różnych częstotliwości przedstawia rysunek 6. W temperaturach bliskich pokojowej, spadek E_c ze wzrostem temperatury jest nieznaczny, natomiest powyżej 110[°]C spadek ten jest bardzo silny. Dla temperatur niższych od 90[°]C pole koercji ma przy ustalonej temperaturze wartości wyższe dla wyższych częstotliwości pola przepolaryzowującego. Natomiast w temperaturze okożo 90[°]C pojawiają się w przebiegach E_c = f(T) anomalie, analogiczne jak obserwowane przy przebiegach częstotliwościowych.

3.3. Zależność polaryzacji spontanicznej od częstotliwości i amplitudy pola przepolaryzowującego

Polaryzację spontaniczną jednoznacznie można wyznaczać tylko przy takiej częstotliwości pola przepolaryzowującego, aby zdążyły zajść wszystkie procesy związane z ruchem domen, czyli aby nastąpiło pełne przepolaryzowanie ferroelektryka. Zwiększenie częstotliwości pola pomiarowego może spowodować zniekształcenie pętli histerezy i obniżenie mierzonej wartości polaryzacji.

W pracy niniejszej przeprowadzono pomiary polaryzacjil spontanicznej warstw BaTiO₃ w funkcji częstotliwości pola pomiarowego, w przedziale od 20 Hz do 10 kHz w kilkunastu temperaturach, dla pól pomiarowych o natężeniach 8, 10, 12, i 14 kV/cm. Pomiary P = f(y) wykazały, że niezależnie od materiału elektrod, grubości warstwy, temperatury i natężenia pola pomiarowego, obserwuje się minimalne zmiany polaryzacji spontanicznej warstw BaTiO₃ w powyższym zakresie częstotliwości (rys. 7). Nieznaczny spadek wartości P₈ ze wzrostem częstotliwości pola występuje wyraźniej w przebiegach P₈ = f(T) dla trzech różnych częstotliwości pola pomiarowego o stałej amplitudzie (rys. 8).

Jak wynika z rysunku 8, wartość P_8 można wyznaczać także powyżej 125°C, gdyż pętla historezy warstw BaTiO₃ utrzymywała się aż do temperatury 160°C, Przykładowo dla układu Pt - BaTiO₃ - Ag (naparowane) o grubości 74 μ m wartości P₂ zmierzone dla E₀ = 14 kV/cm i częstotliwości 5 kHz wymosiły:

dla T = $140^{\circ}C$ - P₈ = 0,24 μ C/cm² dla T = $130^{\circ}C$ - P₈ = 0,42 μ C/cm² dla T = $40^{\circ}C$ - P₈ = 1,12 μ C/cm²

Najwsżniejszę jednak anomalią, jaką stwierdzono przy pomiarach P ., jest fakt, że mierzone wartości P silnie rosną ze wzrostem amplitudy pola przepolaryzowującego (rys. 7), chociaż nasycenie pętli histerezy obserwujemy już dla E = 8 kV/cm. Wartość 8 kV/cm jest też znacznie większa od przyjmowanej teoretycznie amplitudy pola niezbędnego do nasycenia pętli histerezy E = 2E. Efekt silnego wzrostu P ze wzrostem E wystąpił dla wszystkich badanych układu M-F-M, niezależnie od rodzaju elektrod i grubości warstwy lecz procentowy wzrost P był większy dla warstw cieńszych. Wzrost wartości P, ze wzrostem amplitudy E, jest prawie liniowy i nie osiąga nasycenia nawet dla pół bliskich polu przebicia. I tak na przykład dla warstwy BaTiO, o grubości 74 µm, przy częstotliwości 100 Hz, wartość P_s zmierzona dla E_s = 36 kV/cm wynosiła 3,3 μ C/cm², podczas gdy dla E = 14 kV/cm tylko 0,9 μ C/cm². Należy przypuszczać, że efekt ten jest wynikiem specyficznych własności cienkich warstw naniesionych na metaliczne podłoże. Między podłożem a ferroelektrykiem występuje warstwa przejściowa oraz naprężenia termiczne powodujące zniekształcenia sieci krystalicznej. W takim układzie może następić tak silne zamocowanie domen w warstwie przejściowej lub w obszarach o silnych naprężeniach, że pełne przepolaryzowanie staje się niemożliwe. Ze wzrostem E, rośnie ilość przepolaryzowujących się domen, co powoduje wzrost wartości P wyznaczonej z pętli histerezy, Zdaniem Fesenki [6] nawet w bardzo silnych polach nie przepolaryzowuje się więcej miż 50% liczby domen w krystalitach. Tak więc przyłożenie do warstwy ferroelektrycznej pola elektrycznego o danej amplitudzie powoduje przepolaryzowanie tylko pewnej liczby domen i wartość Pe, określona z pętli histerezy dielektrycznej, nie może być uważana za wartość P odpowiadającą pełnemu przepolaryzowaniu warstwy, jak to przyjmujemy dla monokryształów. Otrzymujemy tu tylko wartość P_ odpowiadającą pewnemu układowi domen czyli wartość P_{sd} – polaryzacji "doświadczalnej", przy czym $P_{ed} = f(E_{e}).$

Pojęcie P_B używane w tej pracy przy danych warunkach eksperymentu należy więc rozumieć jako "polaryzację spontanicznę doświadczalnę", wyznaczonę wprawdzie z wysokości nasyconej pętli histerezy, ale nie odpowiadajęce peżnemu przepolaryzowaniu, które dla cienkich warstw jest praktycznie niemożliwe.

4. PODSUMOWANIE

Z przeprowadzonych badań wynika, że warstwy BaTiO₃ otrzymane metodą elektroforezy wykazuję duże podobieństwo własności dielektrycznych do litych ceramik z tego samego materiału. Występujące różnice wartości niektórych parametrów spowodowane sę głównie względami technologicznymi, jak np. różną porowatością i rozmiarami krystalitów. Cienka warstwa, otrzymana metodą elektroforezy, jest niewątpliwie bardziej drobnoziarnista i słabiej upakowana niż formowana pod dużym ciśnieniem próbka ceramiczna. Wynikiem tego są odpowiednio niższe wartości ε i P_g cienkich warstw. Charakterystycznymi osobliwościami warstw BaTiO₃ jest wzrost P_g ze wzrostem. amplitudy pola pomiarowego, jak też zmniejszanie pola koercji ze wzrostem częstotliwości, zachodzące dla niskich częstotliwości akustycznych w temperaturach zbliżonych do punktu Curie. Wydaje się, że wyżej wymienione anomalie, jak też stosunkowo bardzo wysokie wartości pola koercji oraz pola przebicia warstw, spowodowane są procesami przewodnictwa elektrycznego, wzrastającą rolą warstw powierzchniowych w miarę zmniejszania grubości cienkiej warstwy oraz naprężeniami termicznymi.

LITERATURA

- [1] Janta J.: Ferroelectrics, 2, 229, (1971).
- [2] Landauer R., Young D.R., Drougard M.E.: J. Appl. Phys., <u>27</u>,752,(1956).
 [3] Surowiak Z.: Acta Phys. Polon. <u>A-43</u>, 543, (1973).
- [4] Diamant H., Drenck K., Pepinsyk R.: Rev. Sci, Instr., 28, 30, 1957.
- [5] Wieder H.H.: J. Appl. Phys., 28, 367, (1957).
- [6] Fesenko E.G.: Siemiejstwo pierowskita i segnietoelektriczestwo. Atomizdat, Mcskwa 1972.



Rys. 1. Przebiegi ε = f(T) układów Pt-BaTiO₃-Ag (naparowane) E_o = 200 V/cm 1 - grubość warstwy 51 μm, 2 - grubość warstwy 74 μm







Rys. 3. Przebiegi 1/E = f(lnv) układu Pt-BaTiO₃-Ag (naparowane). Grubość warstwy 74 µm. 1 - E₀ = 14 kV/cm, 2 - E₀ = 12 kV/cm, 3 - E₀ = 10 kV/cm, 4 - E = 8 kV/cm a - T = 40°C, b - T = 90°C







Rys. 4. Przebiegi $1/E_c = f(\ln v)$ układu Pt-BaTiO₃-Al (naparowane). Grubość warstwy 53 µm. 1 - E_o = 14 kV/cm, 2 - E_o = 12 kV/cm, 3 - E_o = 10 kV/cm, $4 - E_o = 8 kV/cm$ $a - T = 40^{\circ}C$.



Rys 4. Przebiegi $1/E_{c} = f(\ln v)$ układu Pt-BaTiO₃-Al (naparowane). Grubość warstwy 53 µm. 1 - E_o = 14 kV/cm, 2 - E_o = 12 kV/cm, 3 - E_o = 10 kV/cm, 4 - E_o = 8 kV/cm b - T = 90°C, c - T = 110°C, d - T = 130°C



Rys. 5. Przebiegi E_c = $f(E_0)$ układu Pt-BaTiO₃ (naparowane) Grubość warstwy 53 µm. 1 - 20 Hz, 2 - 100 Hz, 3 - 500 Hz, 4 - 2 kHz, 5 -10 kHz a - T = 40°C, b - T = 110°C



Rys. 6. Przebiegi E_c = f(T) układu Pt-BaTiO₃-Al (naparowane) Grubość warstwy 56 μ m. 1 - 100 Hz, 2 - 500 Hz, 3 - 1 kHz, 4 - 5 kHz



Rys. 7. Przebiegi P_s = $f(\ln v)$ układu Pt – BaTiO₃ – Al (naparowane) Grubość warstwy – 53 µm T = 40°C 1 – E_o = 8 kV/cm, 2 – E_o = 10 kV/cm, 3 – E_o = 12 kV/cm, 4 – E_o = 14 kV/cm



Rys. 8. Przebiegi P_s = f(T) układu Pt-BaTiO₃-Ag (naparowane) Grubość warstwy - 74 μ m, E_o = 14 kV/om 1 - 1 kHz, 2 - 500 Hz, 3 - 100 Hz

ВЛИЯНИЕ ПЕРЕПОЛЯРИЗУЮЩЕГО ПОЛЯ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ ГИСТЕРЕЗ ПЛЁНОК Ватіо,

Резюме

В работе представлено результаты исследовании влияния натяжения и частоты переполяризующегс поля на гизтерез плёнок ВаТ10₃, толщина которых была 50-75 µм. Утверждено, что изменение частоты и натяжения электрического поля сильнее влияет на спонтанную поляризацию и поле коэрции исследованых систем металл – плёнка – ферроэлектрическая – металя.

INFLUENCE OF OVERPOLARIZING FIELD UPON ELECTRICAL HYSTERESIS Batio, LAYERS

Summary

In the article there have been presented results relating to the influence of intensity and frequency of overpolarizing field upon electrical hysteresis of BaTiO_z layers whose thickness is 50-75 μ m.

It has been found that changes in frequency and intensity of electrical field exert a strong influence upon the value of spontanons polarization and coercive field of the investigated arraugements metal-ferroelectrical layer - metal.