

сплавов с ЭПФ на основе TiNi. Они позволяют получать тонкие пленки с хорошей адгезией, чистотой и качеством поверхности, а также точно регулировать химический состав поверхностного слоя, что особенно актуально для сплавов TiNi. Особое внимание уделяется методу высокодозовой ионной имплантации (ВДИИ).

Воздействие на поверхность сплава TiNi направленными потоками металлических ионов вызывает изменение концентрации основных компонентов материала – Ti и Ni, а также насыщение внешнего слоя элементами внедрения – O и C.

При выборе сорта имплантируемых ионов к ним предъявляются следующие требования: низкая растворимость в биологических средах, устойчивость к окислению, отсутствие вторичных фаз при замещении атомов матрицы – Ti и Ni. Этим требованиям удовлетворяют, например, ионы Mo, Zr, Pd или Ta.

Модификация ионным пучком поверхности и поверхностных слоев образцов и изделий из сплавов никелида титана может значительно улучшить их коррозионные свойства, а также на порядок снизить концентрацию никеля, выходящего на поверхность, при взаимодействии этих материалов с химическими растворами – имитаторами биологических сред.

*Работа выполнена под руководством д.т.н. Рубаника В.В.*

УДК 537.226.4

## ПЕРЕПОЛЯРИЗАЦИЯ В ПЕРЕМЕННОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ В КРИСТАЛЛАХ ГЕРМАНАТА СВИНЦА

*А.И. Кротикова, А.В. Мясоедов*

*УО «Витебский государственный технологический университет»*

В работе определяются электрические параметры сегнетоэлектрического кристалла с помощью петли диэлектрического гистерезиса.

Сегнетоэлектриками называется класс диэлектрических кристаллических веществ, у которых при некоторой, определенной для каждого вещества температуре, называемой температурой Кюри, происходит самопроизвольная спонтанная электрическая поляризация, сохраняющаяся и при более низких температурах. Возникновение спонтанной поляризации связано со структурным фазовым переходом вещества при температуре Кюри, при котором понижается симметрия кристаллической решетки.

Сегнетоэлектрики являются подклассом более широкого класса веществ, которые называются пьезоэлектриками. Пьезоэлектрические кристаллы обладают спонтанной поляризацией во всем температурном интервале существования кристаллической фазы вплоть до температуры плавления. Каждая элементарная ячейка пьезоэлектрического кристалла имеет электрический дипольный момент  $\mu_{cn}$ , а поляризация

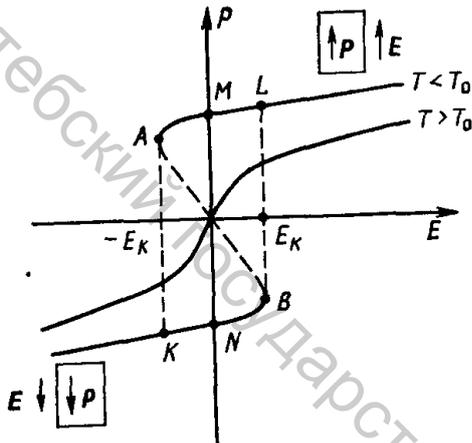
$$P_{cn} = N\mu_{cn},$$

где  $N$  – число ячеек в единице объема. Величина  $\mu_{cn}$  определяется характерным несимметричным расположением ионов в элементарной ячейке кристалла, в результате чего «центры тяжести» положительных и отрицательных зарядов не совпадают:

$$\mu_{cn} = \sum_i e_i r_i,$$

где  $r_i$  – радиус-вектор, проведенный из произвольной точки к  $i$ -ому заряду ячейки,  $e_i$  – заряд иона.

Характерной особенностью сегнетоэлектрических кристаллов, отличающей их от обычных пьезоэлектриков, является то, что спонтанная поляризация исчезает при температуре Кюри в области существования кристаллической фазы. Таким образом, при этой температуре расположение зарядов в элементарной ячейке становится более симметричным, соответствующим нулевому дипольному моменту.



Понижение симметрии кристалла и появление спонтанной поляризации может происходить как за счет смещения ионов из положения равновесия, так и за счет частичного упорядочения в положении отдельных ионов или молекулярных групп, занимавших в симметричной фазе с равной вероятностью несколько различных положений равновесия. В последнем случае в точке фазового, перехода начинается перераспределение вероятностей, приводящее к среднему во времени смещению ионов и

спонтанной поляризации кристалла.

Если вдоль оси 2 к кристаллу приложено электрическое поле  $E$  и в нем возникает поляризация  $P$ , эффективное электрическое поле, действующее на каждый диполь, равно:

$$\vec{E}_{эфф} = \vec{E} + \beta \vec{P},$$

где  $\beta$  – постоянная, не зависящая от температуры.

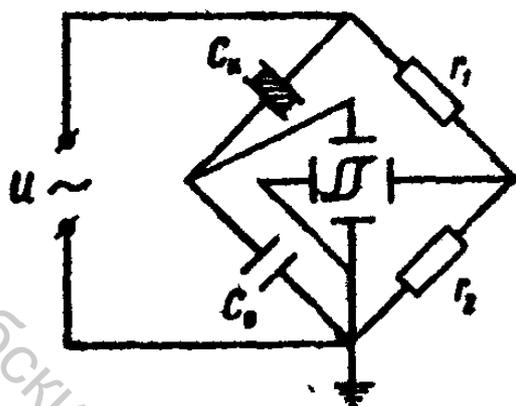
Фазовый переход в сегнетоэлектрическое состояние может быть связан с электростатическим взаимодействием разупорядоченных диполей. Это взаимодействие приводит к появлению при некоторой температуре определенной степени порядка, спонтанной поляризации и характерной петлеобразной зависимости поляризации от электрического поля.

Процесс изменения знака спонтанной поляризации под действием внешнего электрического поля называется переполяризацией. Переполяризация кристалла происходит при критической напряженности электрического поля, называемой коэрцитивным полем. Теоретическое значение коэрцитивного поля может быть определено условием

$$\frac{\partial E}{\partial P} = 0.$$

При сегнетоэлектрическом фазовом переходе кристалл не становится однородно поляризованным – это невыгодно с энергетической точки зрения. Минимуму энергии кристалла соответствует состояние, при котором кристалл разбивается на отдельные области – домены, поляризованные таким образом, что в разных доменах векторы поляризации направлены по разным направлениям.

В результате геометрическая сумма всех векторов поляризации и спонтанная поляризация кристалла в целом оказывается равной нулю. Процесс переполяризации при этом в значительной степени определяется взаимным влиянием доменов различного знака и возможностью разрастания доменов, поляризация которых направлена параллельно электрическому полю за счет областей с неблагоприятной ориентацией вектора спонтанной поляризации.



Кристалл германата свинца имеет 180° расположенные домены.

В данной работе для исследования электрических свойств кристалла германата свинца применяется метод, дающий возможность прямого наблюдения зависимости поляризации от электрического поля на экране осциллографа.

Из кристалла вырезалась пластина перпендикулярно направлению полярной оси и на обе ее большие плоскости наносились металлические электроды. Затем такой кристаллический конденсатор

включался в гистерезисный мост, изображенный на рис. На схеме  $C_k$  обозначает конденсатор с кристаллом,  $C_0$  – эталонный конденсатор ( $C_0 \gg C$ ),  $r_1$  и  $r_2$  – постоянные сопротивления. Видно, что горизонтальное отклонение луча осциллографа пропорционально разности потенциалов, приложенной к цепочке  $C_k - C_0$ :

$U_x = \frac{r_1}{r_1 + r_2} U_0$  В то же время на вертикальные пластины осциллографа подается

напряжение  $U_y = \frac{q}{C_0}$ . Поскольку конденсаторы  $C_k$  и  $C_0$  соединены последователь-

но, этот же заряд появляется на обкладках конденсатора с сегнетоэлектриком. Таким образом, отклонение луча в вертикальном направлении пропорционально  $q$ , и на экране осциллографа получается зависимость  $q = q(U)$  или в определенном масштабе  $P = P(E)$ .

Осциллографическое наблюдение петли диэлектрического гистерезиса проводилось с помощью схемы, изображенной на рисунке. Величину спонтанной поляризации кристалла определяли по формуле

$$P_{cx} = \frac{Q}{S} = \frac{C_0 \frac{h}{2} S_y}{S} \text{ Кл/см}^2,$$

где  $h$  – высота петли в мм по вертикали MN.  $C_0$  – емкость линейного конденсатора в Фарадах,  $S$  – площадь металлизированных обкладок исследуемого образца.

Коэрцитивное поле вычисляли, используя формулу

$$E_k = \frac{l_2 U \sqrt{2}}{l_1 d} \text{ В/см},$$

где  $l_1$ ,  $l_2$  – длина в см изображения петли по горизонтали и расстояние между точками пересечения петли с осью  $x$ ,  $d$  – толщина образца.  $U$  – напряжение, подаваемое на кристалл между клеммами «кристалл» и «земля».  $U$  – определяли с помощью катодного вольтметра, соответствующее максимальному отклонению луча осциллографа по горизонтали.

Напряжение на конденсаторе  $C_0$  ( $U_y$ ) определить непосредственно с помощью катодного вольтметра нельзя, так оно имеет существенно несинусоидальную форму. Потому сначала определяли чувствительность осциллографа для данного положения ручек усиления при подаче на него синусоидального напряжения. Для этого вместо кристалла подключали линейную емкость такой величины, чтобы по-

лучившийся на экране осциллографа эллипс по размерам соответствовал форме петли. После этого катодным вольтметром определяли напряжение, подаваемое на вертикальные пластины  $U_y$  и замерялась длина  $l_3$  в см изображения эллипса по вертикали. Чувствительность по вертикали равна:

$$S_y = \frac{2U_y \sqrt{2}}{l_3} \text{ В/см.}$$

Значения спонтанной поляризации  $P_{сп}$  и коэрцитивного поля  $E_k$ , по результатам осциллографического гистерезиса получили равным  $P_{сп} = 4,1 \cdot 10^{-6}$  Кл/см<sup>2</sup>,  $E_c = 17,0$  кВ/см, что соответствует литературным данным [1].

Список использованных источников

1. Буш, А. А. Монокристаллы с сегнетоэлектрическими и родственными свойствами в системе Pb-GeO<sub>2</sub> и возможные области их применения / А. А. Буш, Ю. Н. Веневцев. – М : НИИТЭХИМ, 1981.

УДК 534.321.9: 621.762.4

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОМПАКТИРОВАНИЯ СУХИХ ПОРОШКОВ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СЕГНЕТОКЕРАМИКИ

**А.А. Быстрикова, И.К. Иканович, А.Д. Шилин**

*УО «Витебский государственный технологический университет»*

Традиционные способы изготовления заготовок методом протяжки и прессования в одноосной пресс-форме при промышленном производстве керамики не позволяют получать материалы, имеющие высокую плотность, что снижает эксплуатационные характеристики готовых изделий. Воздействие ультразвуковых колебаний (УЗК) при формировании пресс-заготовок позволяет получать керамику с улучшенными электромеханическими свойствами [1-4]. В связи с этим, актуальной задачей является комплексное исследование влияния УЗК на физико-механические свойства керамики, полученной прессованием с использованием УЗК.

Объектом исследования в данной работе выбрана керамика ЦТБС-3М, приготовленная из оксидов марки "ч". Для проведения исследования влияния УЗК на процесс компактирования пресс-порошков использована акустическая схема с продольными колебаниями деформирующего инструмента, совпадающими с направлением приложения усилия прессования (рис.1). Экспериментальная установка включает: ультразвуковой генератор УЗДН-2Т, работающий на частоте 22 кГц, магнитострикционный преобразователь, оснастку и пресс, усилием  $5 \cdot 10^4$  Н. Мощность ультразвукового генератора составляла 0,4 кВт, амплитуда колебаний в пучности смещений активного пьезоэлемента – 10-14 мкм. Образцы прессовали в пресс-форме диаметром 7,2 мм, время выдержки при максимальном давлении составляло 10 с.

Керамику получали двухстадийным обжигом при температуре синтеза 1260°С. Фазовый анализ синтезированной керамики проводили на дифрактометре ДРОН-2 с использованием  $\text{Cu K}\alpha$  излучения и графитового монохроматора. Электроемкость измеряли с помощью измерителя иммитанса Е7-20.