УДК 537.226

ЭЛЕКТРОСТРИКЦИОННАЯ ДЕФОРМАЦИЯ И ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ОТКЛИК ПОЛИМОРФНЫХ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ В НИЗКОЧАСТОТНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЯХ

Я.О. Шабловский, А.Ю. Струкачёв

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого», Республика Беларусь

Предмет исследования – влияние полиморфизма на электрострикцию монокристаллического материала. Мы ограничимся случаем, когда частота ω деформирующего поля значительно меньше величины, обратной времени релаксации деформации ε кристалла, так что взаимодействие деформации ε с электрическим полем E можно рассматривать как квазистатическое. Тогда изменение термодинамического потенциала кристалла F, обусловленное, с одной стороны, перестройкой кристаллической решётки, претерпевающей полиморфное превращение при температуре $T = T_c$, а с другой, – воздействием внешнего поля, можно представить в виде:

$$F = F_0 + a\varepsilon^2/2 + b\varepsilon^4/4 - Z_{ij}\varepsilon E_i E_j - (k_\infty)_{ij} E_i E_j, \qquad (1)$$

где константы Z_{ij} характеризуют взаимодействие деформации с полем падающей волны и не зависят от частоты и температуры.

Из (1) находим приращение поляризации кристалла:

$$P_j = \partial F/\partial E_j = \left(\partial^2 F/\partial E_j^2\right)\delta E_j + \left(\partial^2 F/\partial E_j \partial\varepsilon\right)\delta\varepsilon .$$

При невысоких частотах можно считать, что электроиндуцированные флуктуации $\delta\varepsilon$ пропорциональны изменениям внешнего поля, так что δE_j, $\delta\varepsilon \sim \exp(i\omega t)$

(где t – время), а $P_j = \left((k_\infty)_{jj} + \Delta k_{jj} \right) \delta E_j$, где k_∞ – регулярная составляющая диэлектрической восприимчивости; Δk – её аномальное приращение. Для отыскания зависимости $\delta\varepsilon(\omega, T)$ воспользуемся уравнением Ландау-Халатникова, которое в нашем случае имеет вид:

$$\partial\varepsilon / \partial t = -L^{-1}\, \partial F / \partial\varepsilon ,$$

где L – кинетический коэффициент, слабо зависящий от температуры и частоты. В линейном приближении

$$\partial F / \partial\varepsilon = \left(\partial^2 F / \partial\varepsilon \partial E_j \right) \delta E_j + \left(\partial^2 F / \partial\varepsilon^2 \right) \delta\varepsilon .$$

Тогда $\varepsilon = -Z_j E_j \tau_r L^{-1} (1 + i\omega\tau_r)^{-1}$, где $\tau_r = L\left(a + 3b\varepsilon_0^2\right)^{-1}$ – время релаксации деформации;

$$\varepsilon_0 = \left[a_T (T_c - T)/b \right]^{1/2},\ T \le T_c ;$$

$$\varepsilon_0 = 0, \quad T > T_c.$$

Отсюда $\Delta k_{jj} = Z_j^2 (1 + i\omega\tau_r)^{-1} \left(a + 3b\varepsilon_0^2\right)^{-1} E_j$. Представляя, как обычно, $\Delta k_{jj} = \Delta k'_{jj} + i\Delta k''_{jj}$, в итоге имеем:

$$\Delta k'_{jj} = Z_j^2 \tau_r \left(1 + \omega^2\tau_r^2\right)^{-1} L^{-1},\ \Delta k''_{jj} = -Z_j^2 \left(1 + \omega^2\tau_r^2\right)^{-1} L^{-1} \omega\tau_r^2 .$$

Как видим, в низкочастотном пределе, т. е. при $\omega\tau_r << 1$, в области полиморфного превращения будет иметь место резкое возрастание динамической восприимчивости:

$$\Delta k' \sim \left| T - T_c \right|^{-1},\ \Delta k'' \sim \left| T - T_c \right|^{-2} .$$

При этом, однако, следует учитывать, что для сверхнизких частот обусловленное фазовым переходом релаксационное затухание пренебрежимо мало: при $\omega \to 0$ $\Delta k'' \to 0$. При увеличении частоты ω, во-первых, возрастает релаксационное затухание электромагнитных волн, а во-вторых, наблюдается все более заметное размывание острых максимумов зависимостей $\Delta k'(T)$ и $\Delta k''(T)$ вследствие возрастания роли дисперсионного множителя $\left(1 + \omega^2\tau_r^2\right)^{-1}$.