

**"РАСЩЕПЛЕНИЕ" МАКСИМУМА ЗАТУХАНИЯ ГИПЕРЗВУКА
В СЛАБОМ СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКЕ TSCC.**

*Р.Лайхо*¹⁾, *Т.Левола*¹⁾, *С.Д.Прохорова,*
*И.Г.Синий, А.К.Таганцев, В.Виндш*²⁾.

В области сегнетоэлектрического фазового перехода в кристаллах TSCC обнаружено "расщепление" максимума затухания на релаксационную и флуктуационную часть для гиперзвуковых фононов, распространяющихся вдоль полярной оси. Явление характерно для сегнетоэлектриков со слабополярной мягкой модой (слабых сегнетоэлектриков).

1) Лаборатория Вихури, университет в г. Турку, Финляндия.

2) Университет им. К.Маркса, Лейпциг, ГДР.

Собственное поглощение звука при структурных фазовых переходах определяется совместным действием релаксационного и флуктуационного механизмов¹. Максимальные значения вкладов этих двух механизмов достигаются при несколько различных температурах. Однако экспериментальное разделение таких максимумов вплоть до настоящего времени осуществлять не удавалось, в основном из-за сильного отличия вкладов по величине.

В кристаллах TSCC (одноосный сегнетоэлектрик, переход без мультипликации ячеек, $T_c \approx 130,8$ К) при распространении продольных гиперзвуковых фононов вдоль полярной оси в области T_c в затухании были обнаружены два максимума (рис. 1). Один — симметричной формы относительно T_c , другой — асимметричный, он значительно сдвинут в сегнетофазу. Такое поведение затухания было получено в ходе прецизионных измерений рассеяния Мандельштама — Бриллюэна на хорошо отлаженном трехходовом интерферометре Фабри — Перо фирмы Бурлей с накоплением сигнала и его последующей обработкой на компьютере. Отметим, что в прежних работах²⁻⁵ был зафиксирован лишь один максимум затухания (асимметричный), несмотря на использование техники высокого класса.

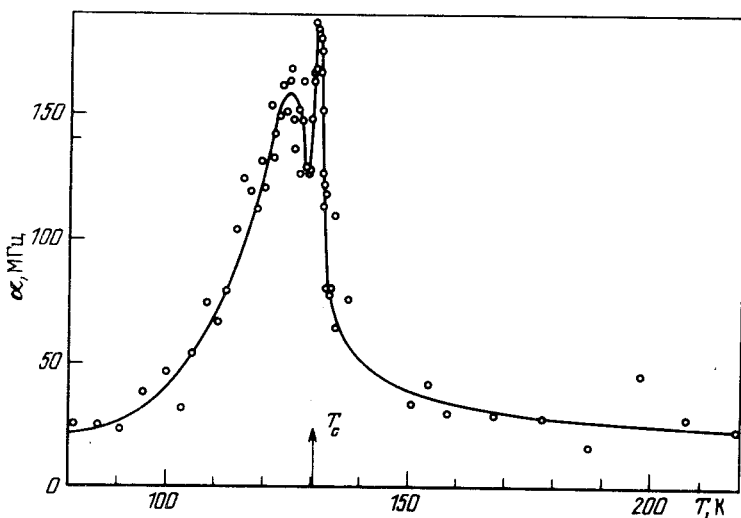


Рис. 1. Температурная зависимость затухания продольных акустических фононов, распространяющихся в TSCC вдоль полярной оси. Приведена ширина компонент Мандельштама — Бриллюэна, измеренная на половине высоты фоновых линий, приборное уширение вычтено

Кристаллы TSCC являются слабыми³⁾ сегнетоэлектриками, т. е. это кристаллы со слабополярной мягкой модой, и характеризуются необычным видом температурных аномалий ряда физических свойств^{3, 6}. Одно из этих свойств — наличие сдвинутого в сегнетофазу асимметричного максимума затухания продольного звука, распространяющегося вдоль полярной оси. Такой максимум был нами впервые зафиксирован и идентифицирован как максимум релаксационного поглощения, искаженный кроссовером в динамике параметра порядка от дипольного к изинговскому типу^{2, 3}. Таким образом, сдвинутый относительно T_c максимум на рис. 1 следует приписать релаксационному механизму поглощения. Нужно еще раз подчеркнуть, что к TSCC нельзя подходить как к обычному одноосному сегнетоэлектрику типа TGS. Пренебрежение спецификой слабого сегнетоэлектрика приводит к необходимости использовать весьма искусственные предположения при интерпретации данных по поглощению гиперзвука^{4, 5}.

Ранее в^{3, 6} был использован термин "слабополярный", который теперь нам представляется менее удачным.

Максимум затухания при $T = T_c$, по нашему мнению, естественно приписать флуктуационному механизму. С этим согласуется проведенный нами анализ высокотемпературного крыла данного максимума. Мягкая мода в TSCC в парафазе остается слабо затухающей ⁷ по крайней мере вплоть до температуры $T = T_c + 5$ К. Поэтому следует ожидать одинаковых температурных зависимостей флуктуационных вкладов в мнимую и вещественную часть упругого модуля ⁸. Как показали наши расчеты ³, в слабом сегнетоэлектрике в области справедливости теории Ландау критическая часть упругих модулей $\text{Re}\Delta c_{ii} \sim \ln(1 + \tau^{-0,5})$, где $\tau = (T - T_c) / T_k$, а T_k - параметр кроссовера. В TSCC такой специфический температурный ход был действительно экспериментально подтвержден для $\text{Re}\Delta c_{22}$ и $\text{Re}\Delta c_{33}$. На основании нескольких независимых измерений было установлено, что в TSCC параметр $T_k \approx 7$ К. Используя эти представления мы проверили возможность описания критической части коэффициента поглощения гиперзвука $\Delta\alpha$ при $T > T_c$ той же формулой, т. е.

$$\Delta\alpha(T) \sim \text{Im}\Delta c_{22} \sim \text{Re}\Delta c_{22} \sim \ln(1 + \tau^{-0,5}), \quad (1)$$

при $T_k = 7$ К. Результаты обработки приведены на рис. 2. Видно, что выбором коэффициента достигается разумное согласие (1) с экспериментальными данными в интервале температур от $T - T_c \approx 100$ К вплоть до $T - T_c \approx 2$ К.

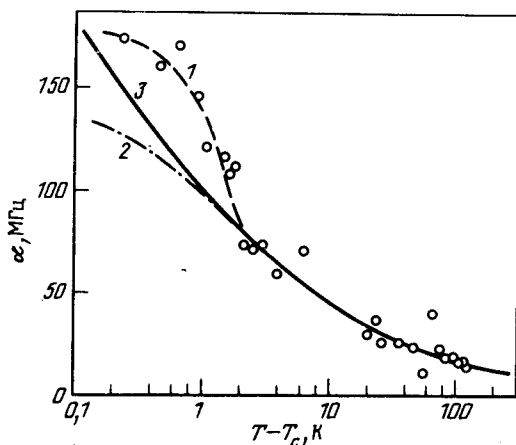


Рис. 2. Температурная зависимость критической части затухания $\Delta\alpha(T)$ - 1 и упругого модуля $\text{Re}\Delta c_{22}(T)$ - 2 из ³ для тех же фононов. 3 - Зависимость, рассчитанная по формуле (1). Масштаб для зависимости 2 нормализован так, чтобы вдали от T_c 1 и 2 совпадали с 3

При дальнейшем приближении к переходу $\Delta\alpha(T)$ сначала возрастает существенно быстрее, а затем - медленнее, чем (1), тогда как для $\text{Re}\Delta c_{22}(T)$ сразу наблюдается замедление роста по сравнению с (1). Сопоставим их поведение. За отклонение $\text{Re}\Delta c_{22}(T)$ от (1) ответственны два фактора ³: дисперсия первой флуктуационной поправки ⁹ и вход в область не малых критических флуктуаций. За отклонение $\Delta\alpha(T)$ - три фактора: кроме двух указанных еще проявляется переход от резонансной к релаксационной мягкой моде вблизи T_c . Вклады этих факторов не адитивны, и количественный анализ совместного их действия затруднителен. Однако возможна качественная интерпретация поведения $\Delta\alpha(T)$.

Известно, что для случая переторможенной мягкой моды в области справедливости теории Ландау температурная зависимость критического вклада в затухание может быть оценена интегралом ⁹:

$$\Delta\alpha \sim \int d^3k / (2\pi)^3 \Omega_k^6. \quad (2)$$

Для области с дипольным типом динамики параметра порядка формула (2) дает $\Delta\alpha \sim (T - T_c)^{-1}$, т. е. значительно быстрее, чем ожидается по (1). Поэтому естественно ожидать, что совместное действие трех факторов приведет к более энергичному росту $\Delta\alpha(T)$, чем $\text{Re}\Delta c_{22}(T)$, где проявляются лишь первые два названных фактора, что и наблюдается в эксперименте. Таким образом, по нашему мнению, начальное отклонение $\Delta\alpha(T)$ от (1)

связано с переходом от резонансной к релаксационной мягкой моде, а последующее замедление — с дисперсией, приводящей к конечному значению затухания при $T = T_c$.

Отметим, что кристаллы TSCC оказались удобным объектом для наблюдения "расщепления" максимума затухания продольного гиперзвука, распространяющегося вдоль полярной оси. В других известных к настоящему времени слабых сегнетоэлектриках, например, $\text{Li}_2\text{Ge}_7\text{O}_{15}$, NH_4LiSO_4 , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ и CsCoPO_4 , исходя из диэлектрических свойств ^{6, 10}, следует ожидать заметно меньших значений параметра T_k . В этом случае "расщепление" аналогичного максимума затухания должно быть существенно меньше. Это затрудняет, но, в принципе, не исключает возможности наблюдения такого эффекта в перечисленных соединениях.

Литература

1. Лайнс М., Гласс А. Сегнетоэлектрики и родственные им материалы. М.: Мир, 1981, 384.
2. Prokhorova S.D., Smolensky G.A., Tagantsev A.K., Siny I.G., Mikvabia V.D., Windsch W. The Third Soviet-Japanese Symposium on Ferroelectricity, Novosibirsk, 1984. Abstracts, 112.
3. Смоленский Г.П., Синий И.Г., Таганцев А.К., Прохорова С.Д., Миквабия В.Д., Виндш В. ЖЭТФ, 1985, 88, 1020.
4. Hikita T., Schnackenberg P., Schmidt V.H. Ferroelectrics, 1985, 63, 107.
5. Hikita T., Wang J.T., Schnackenberg P.T., Schmidt V.H. Jap. J. Appl. Phys., 1985, 24, Suppl. 24-2, 496.
6. Таганцев А.К. Письма в ЖЭТФ, 1987, 45, 352.
7. Kozlov G.V., Volkov A.A., Scott J.F., Feldkamp G.E., Petzelt J. Phys. Rev. B, 1983, 28, 255.
8. Dvořák V. Czech. Journ. Phys., 1971, B21, 836.
9. Леванюк А.П. ЖЭТФ, 1965, 49, 1304.
10. Blum D., Peuzin J.C., Henry J.X. Ferroelectrics, 1984, 61, 265.

Физико-технический институт им. А.Ф.Иоффе
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
27 июля 1987 г.