

АНОМАЛЬНАЯ РЕЛАКСАЦИЯ СТИМУЛИРОВАННОГО ЭХА В ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КРИСТАЛЛАХ

Я. Я. Асадуллин, В. М. Березов, В. Д. Корепанов, В. С. Романов

В ряде пьезоэлектрических кристаллов наблюдалось стимулированное (трехимпульсное) эхо, спад амплитуды которого неэкспоненциален; максимальная постоянная времени порядка десятков минут и более. Обнаружен эффект накопительного усиления эха при предварительном приложении серии пар импульсов.

В данной работе сообщаются новые результаты по наблюдению в пьезоэлектрических кристаллах аномальных эхо-явлений, ранее рассмотренных в работах [1 — 5]. Нами был исследован ряд сегнетоэлектрических и несегнетоэлектрических кристаллов (KDP, ADP, LiNbO_3 , NH_4Cl , $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$, $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$, сегнетова соль и др.), причем в некоторых из них эхо наблюдались впервые.

Для наблюдения эффекта образцы помещались между параллельными пластинами конденсатора, на который подавалась серия из двух или трех импульсов переменного электромагнитного поля. Частота заполнения импульсов была одной и той же для всех импульсов и равнялась $\omega / 2\pi = 12,5$ или 25 МГц. Сигналы эха возникали только при размельчении образца в порошок; в монокристаллах или крупнозернистых порошках эхо отсутствовало, что также отмечено в [1, 2]. Исследования проводились в температурном интервале от комнатной до температуры жидкого азота.

При подаче пары импульсов длительности $\Delta t_{1,2} \approx 2 + 3$ мксек с интервалом τ возникает эхо в момент времени 2τ после первого импульса. Спад сигнала двухимпульсного эха описывается характеристическим временем T_2 , различным для разных веществ и меняющимся с температурой. Величина T_2 (от десятков до сотен мксек), а также температурная и частотная зависимости ее указывают, что это эхо обязано возбуждению акустических колебаний в пьезокристалле; T_2 характеризует необратимое затухание этих колебаний.

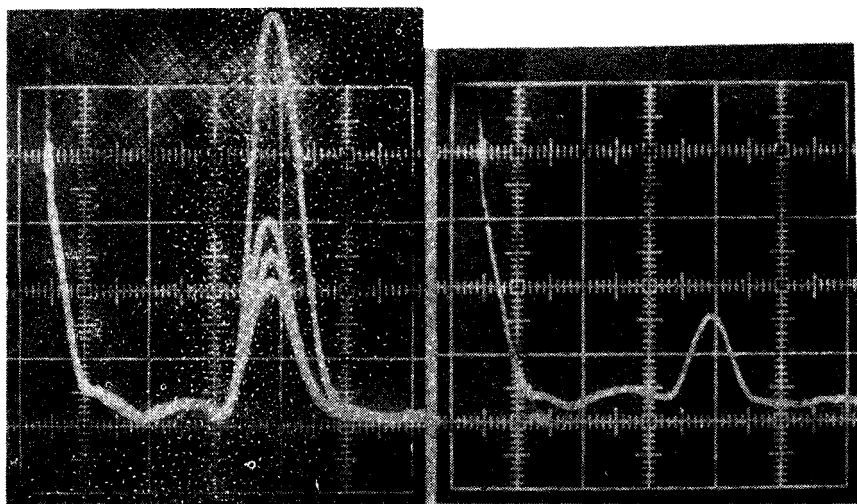


Рис. 1. Спад амплитуды СЭ во времени: а — сверху вниз: $\tau_1 = 0,001; 1; 10; 100$ сек; б. — $\tau_1 = 1$ час. Усиление приемника одинаково для всех осциллограмм. Образец — порошок сегнетовой соли $d_{\text{ср}} = 95$ мкм, $\omega / 2\pi = 12,5$ МГц, $\tau = 20$ мксек, $\chi = 20^\circ \text{C}$

Подача третьего импульса, задержанного относительно первого на время $\tau_1 > \tau$, приводит к образованию стимулированного эха (СЭ) в момент времени $\tau_1 + \tau$. Эксперименты показывают, что экспоненциальная зависимость амплитуды СЭ от τ и τ_1 вида $\exp[-2\tau/T_2 - \tau_1/T_1]$ (T_1 — другое характеристическое время) в отношении τ_1 не выполняется. Как и в работе [5], неэкспоненциальный спад сигнала указывает на наличие не одного, а некоторого распределения значений T_1 от долей секунды

до десятков минут и более. Типичное поведение амплитуды СЭ от времени показано на рис. 1. С понижением температуры длинная компонента T_1 возрастает, в то время как амплитуда эха монотонно падает.

Мы наблюдали интересный эффект накопительного усиления СЭ: если вместо одной пары импульсов подать серию пар, а затем подать единственный третий импульс, амплитуда СЭ оказывается в несколько раз больше, чем от одной пары (рис. 2). Величина усиления зависит от частоты повторения пар и времени накопления. При данной частоте повторения пар через определенное время накопления амплитуда эха насыщается. Это время зависит от длительности и мощности импульсов. Следует подчеркнуть, что в отличие от работы [5], наблюдаемые сигналы двух- и трехимпульсных эхо, а также эффект усиления имеют место без какого-либо предварительного освещения исследованных образцов. Выдержка образца в течение двух недель в темноте не оказывает заметного влияния на поведение сигналов.

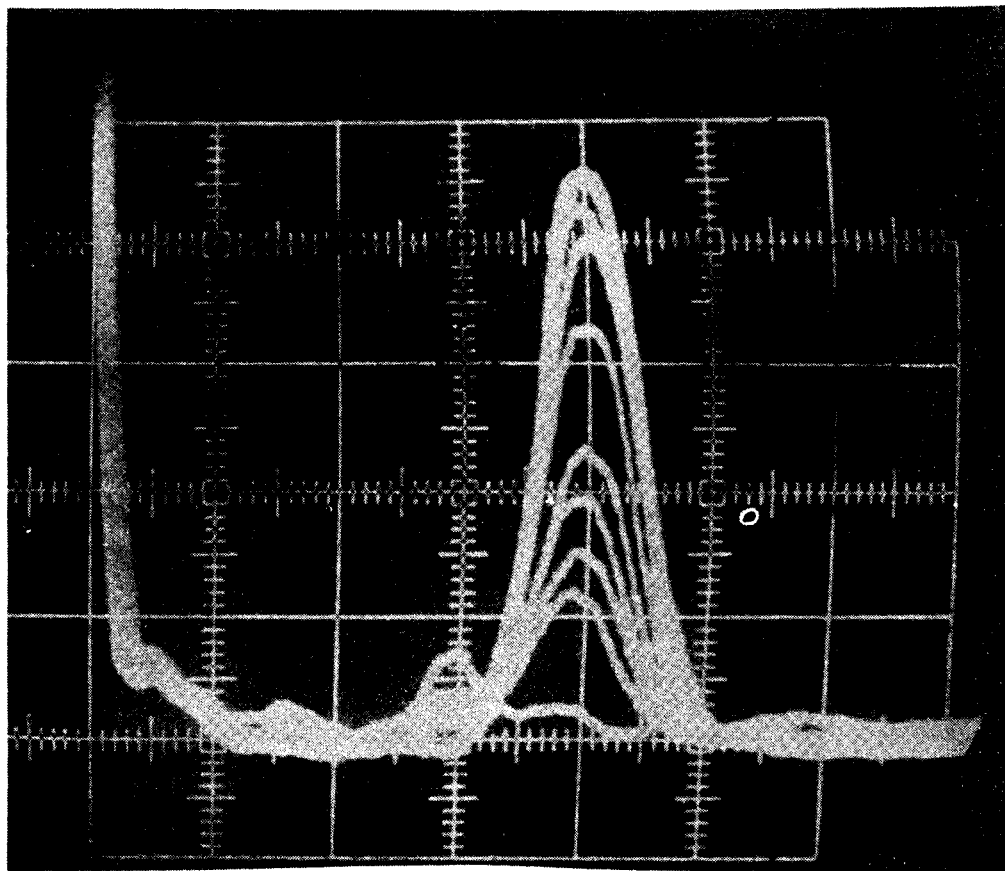


Рис. 2. Многократная экспозиция сигнала СЭ при изменении числа возбуждающих пар импульсов от 3 до $2 \cdot 10^4$; образец и условия те же, что и к рис. 1

Объяснение СЭ через возбуждения только фононной природы исключается из-за наличия anomalously длинных времен T_1 . По-видимому, этот эффект обусловлен механизмом образования дифракционной решетки

из электронов в "ловушках" [5, 6]. Взаимодействие переменного поля импульса с созданным им в образце звуковым полем, равно как и со звуковым полем предыдущего импульса, приводит к интерференционной картине, стационарной во времени и периодичной в пространстве с периодом звуковой волны. В результате этого электроны, находящиеся в максимуме интенсивности стационарного поля, туннелируют из мелких донорных уровней и пространственно перераспределяются по "ловушкам"; возникает дифракционная решетка. Воздействие следующего (третьего) импульса на решетку приводит к образованию противоположно направленных звуковых волн, вследствие чего возникает СЭ. В свете изложенного усиление СЭ объясняется повышением контрастности дифракционной картины под действием множества пар импульсов. При этом времена T_1 определяются глубиной потенциальных ям "ловушек", а спад амплитуды эха с понижением температуры связан с больцмановским распределением электронов по ловушкам.

В образовании двухимпульсного эха могут быть эффективными механизмы двух видов: 1) 1-импульс создает в образце звуковую волну, 2-импульс благодаря некоторому четырехфононному механизму [7] возбуждает обратную волну; 2) взаимодействие электрического поля 1-импульса со своим звуковым полем создает дифракционную картину, 2-импульс рассеивается на этой решетке. Можно предполагать, что длинные времена $T_2 \sim 100$ мксек и более обусловлены механизмом (2).

Казанский
физико-технический институт
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
30 января 1975 г.
18 июля 1975 г.

Литература

- [1] С.Н.Попов, Н.Н.Крайник. ФТТ, 12, 3022, 1970.
- [2] А.Р.Кессель, И.А.Сафин, А.М.Гольдман. ФТТ. 12, 3070, 1970.
- [3] У.Х.Копвиллем, Б.П.Смоляков, Р.З.Шарипов. Письма в ЖЭТФ, 13, 558, 1971.
- [4] J. Joffrin, A. Levelut. Phys. Rev. Lett., 29, 1325, 1972.
- [5] N.S. Shiren, R.L. Melcher, D.K. Garrod, T.G. Kazyaka. Phys. Rev. Lett., 31, 819, 1973.
- [6] J.J. Amodoi, D.L. Staebler. RCA Rev., 33, 71, 1972.
- [7] М.Борв, К.Хуан. Динамическая теория кристаллических решеток, ИИЛ, 1958.