

ТРЕХИМПУЛЬСНОЕ ФОНОННОЕ (ЭЛЕКТРОАКУСТИЧЕСКОЕ) ЭХО С БОЛЬШИМ ВРЕМЕНЕМ РЕЛАКСАЦИИ

С.Н. Попов, Н.Н. Крайник, Г.А. Смоленский

Обнаружено, что стимулированное трехимпульсное фононное эхо типа $T + \tau$ в кристаллических порошках пьезоэлектриков может наблюдаться при комнатной температуре при подаче третьего импульса через многие сутки после однократной подачи первых двух импульсов. Обсуждается возможная природа этого явления.

Явление фононного или электроакустического эха было обнаружено в [1,2] в результате исследований в двухимпульсном режиме: при подаче на пьезоэлектрический кристалл в момент времени 0 и τ двух радиочастотных электромагнитных импульсов в момент времени 2τ возникал когерентный акустический импульс эха, сопровождаемый электромагнитным полем. Стимулированное трехимпульсное фононное эхо в момент времени $T + \tau$, где T – время подачи третьего импульса, наблюдалось в [3–6] при гелиевых температурах.

В настоящей работе обнаружено и исследовано трехимпульсное эхо при $T + \tau$ с большим временем релаксации при комнатной температуре в кристаллических пьезоэлектрических порошках германата висмута $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ и сегнетовой соли.

Исследования проводились в диапазоне частот заполнения импульсов $5 - 70 \text{ МГц}$ [1]. Исследовались фракции порошков с размерами частиц, для большинства из которых при частоте измерения выполнялись условия акустического резонанса. Эхо при $T + \tau$ наблюдалось при условии $\tau < T_2$, где T_2 — время релаксации, определенное из огибающей сигналов двухимпульсного эха при различных τ .

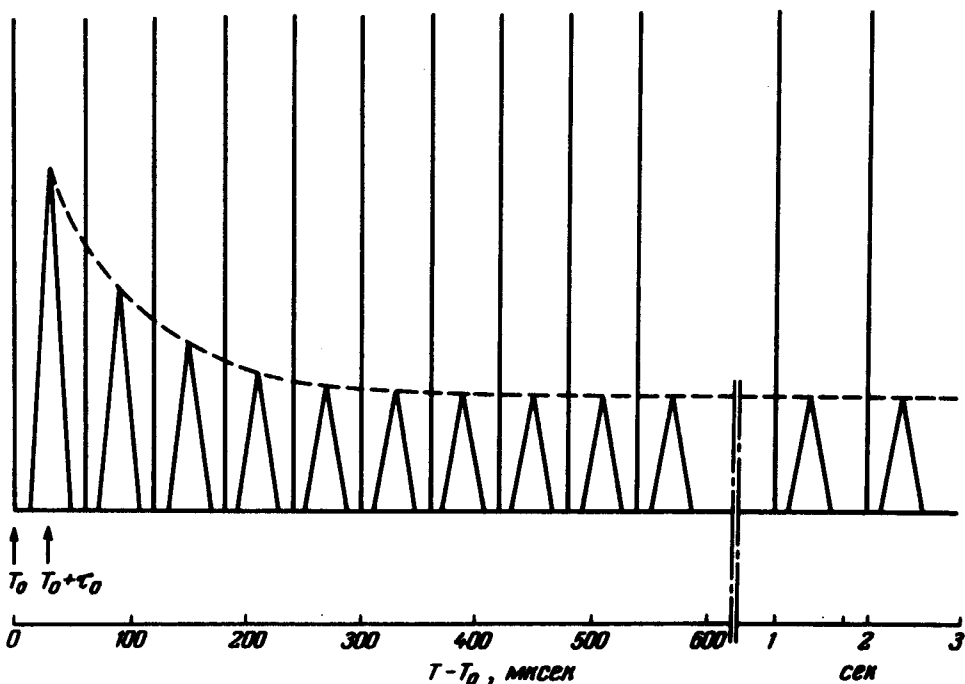


Рис. 1. Схематическое изображение серий импульсов эха при $T + \tau$ в порошке германата висмута в зависимости от T при фиксированном $\tau = \tau_0$ в режиме повторяющихся серий из трех зондирующих импульсов. Положения вертикальных линий соответствуют моментам включения третьего импульса

На рис. 1 схематически показана серия трехимпульсного эха в момент времени $T + \tau$ в зависимости от T при постоянном $\tau = \tau_0$, полученная в режиме повторяющихся серий из трех импульсов одинаковой длительности, амплитуды и частоты. При малых T огибающая эхо приближенно описывается экспонентой с временем релаксации T_1 , близким к T_2 , однако при $T - \tau_0 \gg T_1$, амплитуда эха стремится не к нулю, а к некоторому постоянному значению, обнаруживающему разброс в различных сериях экспериментов.

Можно было предполагать, что этот разброс обусловлен некогерентностью зондирующих импульсов, приводящей к взаимному гашению эффекта в режиме повторяющихся серий. Действительно, оказалось, что

при однократной подаче первого и второго импульсов и повторяющемся третьем импульсе с периодом повторения, большим T_2 , величина эха возрасла более чем на порядок величины и стала стабильной. При $T - \tau_0 \gg T_1$ величина эха практически не зависела от T в течение нескольких суток (рис. 2). Эхо, измеренное в этом режиме, при больших T имеет следующие основные свойства: амплитуда эха не изменяется в зависимости от числа повторений третьего импульса. Эхо исчезает при изменении положения отдельных кристалликов относительно друг друга после окончания действия второго импульса. Поворот ампулы с порошком на угол $\pm 90^\circ$ вокруг своей оси приводит к исчезновению эха, при возвращении к прежней ориентации величина эха почти достигает прежнего значения. Амплитуда эха растет с увеличением амплитуды зондирующих импульсов. При изменении частоты третьего импульса амплитуда эха проходит через острый максимум при $\nu_{III} = \nu_{I,II}$, где ν_{III} — частота третьего импульса, а $\nu_{I,II}$ — частота первого и второго импульсов.

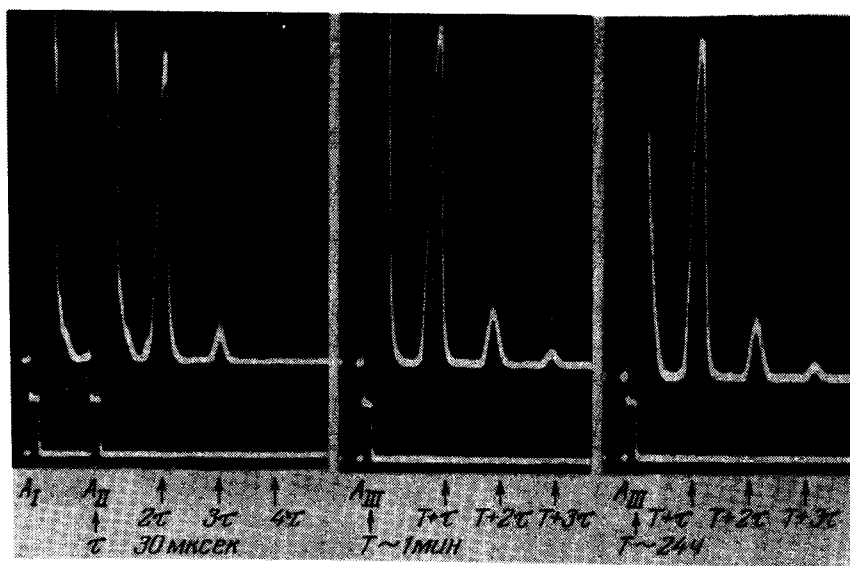


Рис. 2. Серии двухимпульсных эхо 2τ , 3τ , 4τ , полученных в режиме повторяющейся пары импульсов (A_I и A_{II}), и трехимпульсных эхо $T + \tau$, $T + 2\tau$, $T + 3\tau$, полученных при включении третьего импульса (A_{III}) спустя 1 минуту и 24 часа после однократной подачи пары импульсов в порошке германата висмута при температуре $+35^\circ\text{C}$, частоте $\nu_I = \nu_{II} = \nu_{III} = 28 \text{ МГц}$, периоде повторения одиночного и пары импульсов 10 мсек и одинаковом усилении приемника

Какова же природа исследуемого эха? При $T + \tau$ эхо может наблюдаться, если в момент действия второго импульса возникает постоянная во времени составляющая электрического поля и деформации. Эта составляющая должна быть модулирована в пространстве по закону $\cos \mathbf{q}\mathbf{r}$ (\mathbf{q} — волновой вектор фонона) в соответствии со значениями фаз

фононов, рожденных первым импульсом, в момент, когда действует второй импульс, и быть отличной от нуля в момент действия третьего импульса. Тогда третий импульс будет рождать фононы с $-q$, которые и дадут сигнал эхо в момент $T + \tau$ благодаря сфазированию колебаний. Один из возможных вариантов взаимодействий, который может дать такую постоянную составляющую поля и деформации, представляет собой $\cos(\omega t - qx) \cos \omega t$, где первый множитель – деформация за счет первого импульса, а второй множитель – электрическое поле второго импульса. В случае участия электрострикции это произведение описывает электрическое поле с постоянной во времени составляющей $\cos qx$. Однако время существования этой составляющей равно длительности второго импульса, т. е. $\sim 10^{-6}$ сек.

Наблюдение эха в течение многих суток свидетельствует о длительном сохранении постоянной составляющей поля и деформации после прекращения действия второго импульса. Механизм такого "закрепления" зарядов и деформаций может быть связан с перераспределением дефектов, в том числе дислокаций. Об относительной прочности закрепления свидетельствуют большие времена релаксации, а также отсутствие существенных изменений величины эха при ионизации воздуха в ампуле высокочастотным разрядом под откачкой форвакуумным насосом и при облучении видимым светом небольшой интенсивности с длинами волн, соответствующими выраженной фоточувствительности германата висмута.

В заключение авторы благодарят В.В.Леманова за стимулирование работ в области фононного эха и обсуждение результатов и В.Л.Гуревича за ценную дискуссию.

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

Поступила в редакцию
27 марта 1975 г.

Литература

- [1] С.Н.Попов, Н.Н.Крайник. ФТТ, 12, 3022, 1970.
- [2] А.Р.Кессель, И.А.Сафин, А.М.Гольцман. 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] A.Billman, Ch. Frenois, J.Joffrin, A.Levelut, S.Ziolkiewicz. J. Phys., 34, 453, 1973
- [6] N.S.Shiren, K.L.Melcher, D.K.Garrod, T.G.Kazyaka. Phys. Rev. Lett., 31, 819, 1973.