

ПОЛЯРИЗАЦИОННОЕ ЭХО В ФЕРРОЭЛЕКТРИЧЕСКОМ МОНОКРИСТАЛЛЕ KN_2PO_4

У. Х. Коввиллем, Б. П. Смоляков, Р. З. Шарипов

При гелиевых температурах на частоте 10^{10} сек^{-1} в монокристалле KN_2PO_4 обнаружен электрический аналог электронного спинового эха. Эхо-отклики имеют большую интенсивность, длительность порядка $3 \cdot 10^{-8} \text{ сек}$ и не зависят от напряженности магнитного поля. Анализ экспериментальных данных показывает, что поляризационное эхо обусловлено системой локализованных центров, обладающих электрическим дипольным моментом. Обратимая фазовая релаксация этой системы обусловлена неоднородностью локального электрического поля в ферроэлектрике. Времена продольной, обратимой поперечной и необратимой поперечной релаксаций этих центров при гелиевых температурах соответственно порядка $T_1 \sim 10^{-5} \text{ сек}$, $T_2^* \sim 10^{-8} \text{ сек}$ и $T_2 \sim 1,6 \cdot 10^{-6} \text{ сек}$. В работах [1–3] сообщалось об экспериментальном наблюдении циклотронного, ферромагнитного и флюксоидного эха. В работах [4–6] эти явления были теоретически описаны с единой точки зрения как отклики системы когерентно возбужденных квантовых осцилляторов и названы сигналами макроскопического эха. Так как возбуждение колебаний ротонов и вихревых нитей в гелии, доменов в ферромагнетиках и ферроэлектриках, трубок канализированного излучения в оптически возбужденных средах и дефектов в кристаллах могут быть описаны этим же формализмом, то возникает задача о поисках соответствующих сигналов. В работе сообщается об обнаружении макроскопического эха в ферроэлектрическом гидрофосфате калия.

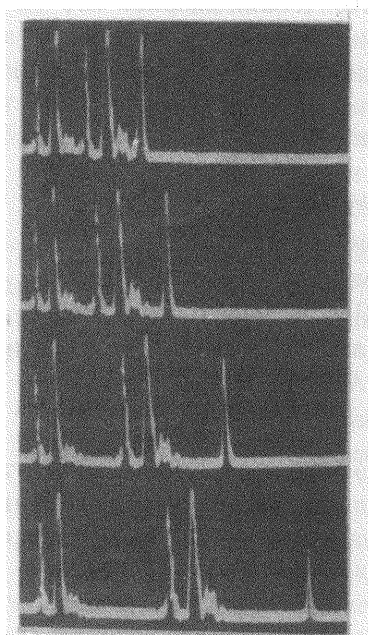
При проведении экспериментов использовалась импульсная методика, применяемая при наблюдении электронного спинового эха [7]. В качестве источника мощных СВЧ импульсов использовался магнетронный генератор. Импульсная мощность генератора была порядка 4 кВт . Для регистрации сигналов эха был применен приемник прямого усиления на лампах бегущей волны с полосой пропускания порядка 40 МГц и чувствительностью 10^{-12} вт .

Серия из двух возбуждающих СВЧ импульсов длительностью порядка $3 \cdot 10^{-8} \text{ сек}$ и с интервалом между импульсами τ подавалась на вход трехплечевого ферритового циркулятора и далее в отражательный объемный резонатор с нагруженной добротностью порядка 500.

В максимум электрического поля СВЧ резонатора помещался образец кристалла $\text{KDP} (\text{KN}_2\text{PO}_4)$ вырезанного в виде цилиндра диаметром 4 мм и длиной 6 мм . Шлифовке и оптической обработке кристалл не подвергался. При этом наблюдался сигнал поляризационного эха через интервал от переднего фронта первого возбуждающего импульса. При увеличении интервала между возбуждающими импульсами амплитуда эха падала с постоянной времени T_2 . На рисунке приведены ос-

циллограммы, где показаны сигналы эха при разных интервалах τ между возбуждающими импульсами.

В силу ферроэлектрических свойств кристалла KN_2PO_4 , после каждого возбуждающего импульса наблюдалась генерация гиперзвука, аналогичная описанной в работе [8]. При воздействии на кристалл серией из трех СВЧ импульсов, кроме сигнала эха после второго импульса, наблюдались сигналы так называемого стимулированного эха через интервалы τ и 2τ от третьего возбуждающего импульса. При фиксированной задержке между первым и вторым возбуждающими импульсами и увеличении интервала между вторым и третьим импульсами, амплитуда стимулированного эха спадала с постоянной времени T_1 .



Оциллограммы сигналов поляризационного эха в KN_2PO_4 при $4,2^\circ\text{K}$ для разных интервалов между возбуждающими импульсами (τ менялось от 10^{-7} до $3 \cdot 10^{-7}$ сек). После каждого возбуждающего импульса (узкие пики) наблюдается последовательность отраженных от стенок доменов гиперзвуковых импульсов. После второго гиперзвукового сигнала следует поляризационное эхо

Наблюденный сигнал эха не может быть аппаратным эффектом, так как при увеличении τ сигнал эха всегда наблюдается через 2τ от первого импульса как это следует из теории макроскопического эха. Поэтому мы заключаем, что сигнал обусловлен когерентной осцилляцией локализованных в пространстве электрических диполей.

Аналогичные эксперименты были проведены на полидоменном LiNbO_3 , сегнетовой соли и в кристаллическом кварце. Во всех случаях был наблюден гиперзвук, однако, сигналы эха нигде не наблюдались. Прежде всего, отсюда следует, что обнаруженное нами поляризационное эхо не является гиперзвуковым сигналом.

Кроме того, из приведенных оциллограмм видно, что после возбуждающих импульсов, как первого, так и второго в кристалле возбуждаются гиперзвуковые импульсы. Что же касается сигнала эха, то он не сопровождался какими-либо гиперзвуковыми колебаниями.

Из этих экспериментов также можно сделать следующие выводы: 1) из отсутствия сигнала поляризационного эха в кварце по-видимому следует, что поляризационное эхо связано не с пьезоэффектом, а с ферроэлектрическим состоянием вещества; 2) отсутствие сигнала в ниобате лития можно было бы объяснить тем, что это вещество имеет очень высокую температуру фазового перехода. При температурах проведенного опыта границы доменов и сами домены мало подвижны. Поэтому возможно, что сигнал поляризационного эха в какой-то степени обусловлен подвижностью доменных границ, или вращением самих доменов; 3) отсутствие сигнала в сегнетовой соли может быть обусловлено тем, что этот кристалл при гелиевых температурах переходит в параэлектрическое состояние.

О природе эхо-сигналов можно утверждать следующее: 1) явление обусловлено поляризацией (фазировкой) электрических диполей вещества; 2) при изменении частоты возбуждения от 8,9 до 9,6 Гц интенсивность эха не изменяется, т. е. возбуждение не носит резонансный характер; 3) при возрастании интенсивности возбуждения сигнал эха монотонно возрастает и обнаруживает признаки насыщения при мощности ~ 1 кВт. Признаки пунктов 2) и 3) характерны для макроскопического эха [4 - 6]. Короткость времен релаксации при гелиевых температурах и интенсивность сигнала, превосходящая сигналы электронного спинового эха на парамагнитных примесях, показывает, что мы имеем дело с электрическими диполями. Поляризационное эхо было нами также обнаружено при 4,2°K в сегнетоэлектрических монокристаллах KD_2PO_4 , CsD_2AsO_4 , CsH_2AsO_4 , RbH_2AsO_4 и RH_2PO_4 . Отсюда видно, что поляризационное эхо является характерным явлением для сегнетоэлектриков. Можно надеяться, что оно может стать новым методом исследования этих веществ.

Казанский

Физико-технический институт
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
12 апреля 1971 г.

Литература

- [1] R.M.Hill, D.E.Kaplan. Phys. Rev. Lett., 14, 1062, 1965.
- [2] D.E.Kaplan. Phys. Rev. Lett., 14, 514, 1965.
- [3] I.V.Goldberg, E.Ehrenfreund, M.Weger. Phys. Rev. Lett., 20, 539, 1968.
- [4] Я.Я.Асадуллин, У.Х.Копвиллем. ФТТ, 9, 2737, 1967.
- [5] У.Х.Копвиллем. ФТТ, 9, 1038, 1967.
- [6] У.Х.Копвиллем. ФТТ, 11, 129, 1969.
- [7] А.Г.Семенов, В.Е.Хмелинский. ПТЭ, №5, 197, 1967.
- [8] И.Г.Ганеев, У.Х.Копвиллем, Б.П.Смоляков. ФТТ, 10, 3701, 1969.