

*Письма в ЖЭТФ, том 20, вып. 10, стр. 644 – 647 20 ноября 1974 г.*

## АКУСТИЧЕСКАЯ САМОИНДУЦИРОВАННАЯ ПРОЗРАЧНОСТЬ В $\text{LiNbO}_3 : \text{Fe}^{2+}$

*В.В.Самарцев, Б.П.Смоляков, Р.З.Шаринов*

Наблюдена деформация акустического импульса с длительностью, меньшей необратимых времен релаксации, в резонансной среде – монокристалле  $\text{LiNbO}_3 : \text{Fe}^{2+}$ . Анализ особенностей и условий формирования деформации, показывает что она обязана эффекту акустической самоиндуцированной прозрачности.

Эффект самоиндуцированной прозрачности [1] заключается в том, что начиная с некоторой пороговой мощности оптического или акустического импульса, длительность которого короче всех необратимых времен релаксации, наступает полное или частичное "просветление" резонансной среды (резко уменьшается коэффициент поглощения).

Этот эффект сопровождается деформацией контура импульса и уменьшением его скорости распространения. В акустике теория таких процессов развивалась в [2], а экспериментально к настоящему времени осуществлено лишь одно наблюдение акустической самоиндуцированной прозрачности (АСИП) – в монокристалле  $\text{MgO} : \text{Fe}^{2+}, \text{Ni}^{2+}$  [3].

В настоящей работе сообщается об экспериментальном наблюдении АСИП в сегнетоэлектрике –  $\text{LiNbO}_3$ , активированном ионами  $\text{Fe}^{2+}$ . С физической точки зрения деформация импульса обязана переизлучению

средой поглощенной энергии в проходящий через нее импульс. Практически такая задача требует решения совместной системы дифференциальных уравнений теории упругости и уравнений для компонент эффективного спина [2].

Для наблюдения АСИП необходимо выполнение следующих условий:

1) наличие акустического резонанса между частотой акустического импульса —  $\nu$  и частотой перехода —  $\nu_0$  между двумя какими-либо энергетическими уровнями; 2) длительность импульса  $\Delta t$  должна быть короче всех необратимых времен релаксации; 3) мощность импульса должна превышать мощность  $\pi$ -импульса в среде [1].

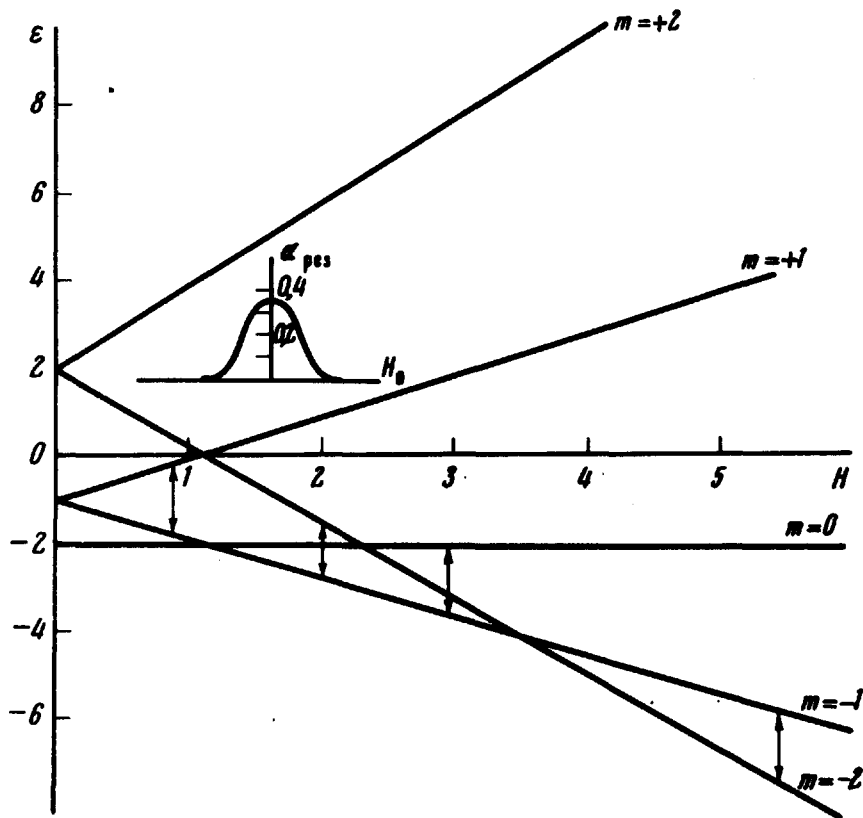


Рис. 1. Система энергетических уровней иона  $Fe^{2+}$  в  $LiNbO_3$ . Одна из характерных кривых резонансного акустического поглощения. Единица градуировки энергии —  $\epsilon$  соответствует  $0,21 \text{ см}^{-1}$ ; магнитного поля  $H_0$  —  $1000 \text{ гс}$ , коэффициента резонансного поглощения  $\alpha_{рез}$  —  $0,1 \text{ см}^{-1}$

Остановимся на выполнении вышеуказанных условий в нашем эксперименте. Нами исследовалось акустическое резонансное поглощение в образце монокристаллического ниобата лития. На рис. 1 приведена система энергетических уровней иона  $Fe^{2+}$  в  $LiNbO_3$  для случая параллельной ориентации постоянного магнитного поля  $H_0$  к полярной оси кристалла. Вертикальными стрелками изображены возможные энергетические переходы под действием звукового возмущения на частоте  $\nu \approx 10 \text{ Ггц}$ .

Здесь же показана одна из характерных кривых электронного акустического резонанса, наблюдаемых в эксперименте (она соответствует значению магнитного поля  $H_0 = 2050$  эс на переходе между энергетическими уровнями с магнитными квантовыми числами  $m = -2$  и  $-1$ ).

Длительность импульса составляла 40 нсек и была меньше необратимых времен релаксации (которые, согласно [4, 5], превышают  $10^{-7}$  сек).

Мощность импульса с учетом нерезонансных потерь соответствовала значению параметра  $\theta = 1,27 \pi$ . Напомним, что в теории импульсного резонансного прохождения [1, 2] параметром акустического импульса является

$\theta_{\gamma\delta} = \hbar^{-1} G_{\gamma\delta\alpha\beta} \int_{-\infty}^{\infty} \epsilon_{\alpha\beta}(z, t) dt$ , где  $\epsilon_{\alpha\beta}$  — компоненты

тензора деформации среды в точке  $z$  (исследуются случаи  $k \parallel z \parallel C$ ) в момент времени  $t$ ;  $k$  — волновой вектор импульса;  $C$  — единичный вектор вдоль полярной оси кристалла;  $G_{\gamma\delta\alpha\beta}$  — компоненты тензора спин-фононного взаимодействия.

Экспериментально был наблюден эффект АСИП на всех переходах, где имел место электронный акустический резонанс. Эксперимент ставился следующим образом.

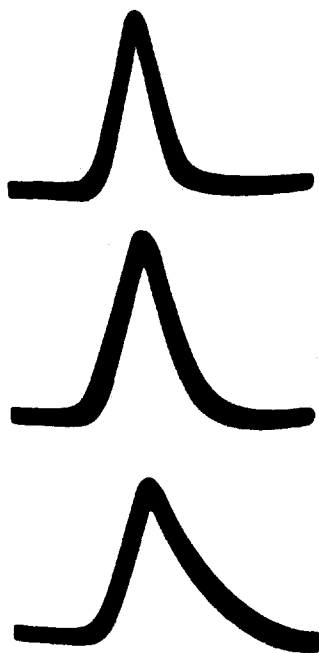


Рис. 2. Деформация контура импульса в образце по мере приближения условий прохождения к резонансным (сверху вниз)

На частоте  $\sim 10$  Гц при 4,2К в кристалле монокристаллического  $\text{LiNbO}_3$ :  $\text{Fe}^{2+}$  возбуждались гиперзвуковые импульсы длительностью 40 нсек. Для этого исследуемый образец сегнетоэлектрика помещался в широкополосный волноводно-коаксиальный переход, соединенный с магнетронным генератором коротких СВЧ импульсов. Возбужденные импульсы гиперзвука циркулировали в образце. Из последовательности эхо-импульсов селектировался один, на котором и проводились конкретные

измерения. В нашем эксперименте выделенный импульс проходил в резонансной среде путь, равный 2,4 см. Регистрация выделенного импульса велась при помощи широкополосного приемного устройства на лампах бегущей волны и скоростного осциллографа. Чувствительность приемного устройства была порядка  $10^{-12}$  вт; полоса пропускания составляла 50 Мгц. Осциллограммы, приведенные на рис. 2, иллюстрируют изменение формы акустического импульса по мере приближения внешнего магнитного поля  $H_0$  к резонансному значению. При этом видно, что импульс в резонансной среде запаздывает и его "центр тяжести" [6] смещается назад.

Нами наблюдалось запаздывание на время  $5 + 6$  нсек, что согласуется с величиной, получаемой из известного в теории АСИП выражения [1, 2]:  $\frac{1}{V} = \frac{1}{V_0} + \frac{\alpha_{рез}}{2} \Delta t$ , где  $V$  – скорость распространения импульса в резонансной среде;  $V_0$  – скорость распространения импульса в нерезонансных условиях;  $\alpha_{рез}$  – коэффициент резонансного поглощения гиперзвукового импульса.

В эксперименте деформация и запаздывание импульса, кроме того, сопровождалась значительным просветлением резонансной среды на величину  $\sim 30\%$  по сравнению с коэффициентом резонансного поглощения гиперзвуковых импульсов, не удовлетворяющих условию наблюдения АСИП ( $\Delta t >$  необратимых времен релаксации).

Казанский  
физико-технический институт  
Академии наук СССР

Поступила в редакцию  
4 октября 1974 г.

### Литература

- [1] S. L. Mc Call, E. L. Nahn. Phys. Rev., 183, 457, 1969.
- [2] В.Р.Нагибаров, В.В.Самарцев, Н.К.Соловаров. Тезисы 5-й Всесоюзной конференции по квантовой акустике и акустоэлектронике. Изд. СО АН СССР, Новосибирск, 1970, стр. 10; ЖЭТФ, 61, 1636, 1971.
- [3] N. S. Shiren. Phys. Rev., 2B, 2471, 1970.
- [4] Н.Ф.Евланова, М.С.Корниенко, Л.Н.Рашкевич, А.О.Рибалтовский. ЖЭТФ, 53, 1920, 1967.
- [5] У.Х.Копвиллем, Б.П. Смоляков. ЖЭТФ, 55, 2188, 1968.
- [6] А.Н.Самсон, Л.А.Котомцева, А.В.Миленкевич. Журн. прикл. спектр., 17, 228, 1972.