

## КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 548.0:534

## АКУСТИЧЕСКИЕ ВОЛНЫ НАСЫЩЕНИЯ

А. В. Алексеев, У. Х. Коввилем

В работе [1] рассматривались эффекты, возникающие при прохождении импульсов монохроматического излучения через оптически плотную на частоте перехода среду, содержащую центры, резонансно поглощающие излучение. Насыщение поглощения приводило к «просветлению» слоя среды, из-за чего излучение почти без потерь проникало в следующий слой. «Просветленная» область непрерывно перемещалась в глубь среды, причем скорость волны «просветления» была на несколько порядков меньше скорости света. Совершенно аналогично, при прохождении бегущих звуковых волн вдоль кристалла, содержащего парамагнитные примеси, в результате поглощения энергии поля звуковых деформаций в нем появляются перемещающиеся области, в которых происходит выравнивание заселенностей спиновых энергетических уровней, из-за чего коэффициент поглощения звука в этих областях падает до величины, мало отличной от нуля, и энергия звуковой волны проникает в следующий слой. Рассмотрение кинетических уравнений показывает, что скорость перемещения акустических волн насыщения можно сделать на несколько порядков меньше скорости бегущих звуковых волн, причем скорость акустической волны насыщения зависит от скорости звука в кристалле, плотности звуковой энергии и концентрации спинов, т. е. является управляемой в широких пределах, что позволяет использовать эти волны в линиях задержки сигнала. Акустические волны насыщения возбуждаются звуковыми импульсами достаточной мощности, детектирование же их производится методом спинового эха [2], который позволяет с большой скоростью регистрировать изменение заселенностей спиновых энергетических уровней на противоположном торце кристалла.

Пренебрегая процессами нерезонансного поглощения фононов и полагая длительность звукового импульса  $T_3 \ll \tau$ , где  $\tau$  — время продольной релаксации спинов, взаимодействие поля звуковых деформаций с поглощающими примесными парамагнитными центрами можно охарактеризовать усредненным по спектральному интервалу  $\Delta\nu_3$  звукового импульса параметром  $\sigma$  — сечения рассеяния фонона на примесях. Тогда при прохождении акустических бегущих звуковых импульсов акустические волны насыщения могут образоваться, если  $\sigma \gg (NL)^{-1}$ , где  $L$  — длина образца,  $N$  — плотность примесных парамагнитных центров, возбуждаемых полем звуковых деформаций.

Рассмотрим ион  $Fe^{2+}$  в кристалле  $MgO$ , тогда из  $\sigma = 2\pi^2 G^2 v_0 |\langle a|Q|b \rangle|^2 g(\nu) \times [\hbar \rho c^3]^{-1}$ , полагая  $v_0 \sim 10^{10}$  сек $^{-1}$ ,  $G \sim 10^{-13}$  эрг/ед.деф,  $g(\nu) \sim 10^{-8}$  сек,  $c \sim 10^6$  см·сек $^{-1}$  — скорость распространения звука в кристалле, получим что  $\sigma \sim 10^{-14}$  см $^2$ , т. е. при  $N = 10^{18}$  см $^{-3}$ , а длине образца 1 см  $\sigma \gg (NL)^{-1}$ . Здесь  $G = \text{const}$  спин-фононного взаимодействия,  $v_0$  — частота звука,  $\langle a|Q|b \rangle$  — матричный элемент оператора спин-фононного взаимодействия,  $g(\nu)$  — форм-фактор спектральной линии,  $\rho$  — плотность кристалла. Отсюда также видно, что в случае электронного спин-фононного взаимодействия, когда  $\text{const } G \sim 10^{-11} \div 10^{-17}$  эрг/ед.деф, путем выбора соответствующей концентрации активных поглощающих центров вполне можно добиться появления акустических волн насыщения, т. к.  $\sigma \sim 10^{-10} \div 10^{-22}$  см $^2$ , соответственно, но в случае ядерного спин-фононного взаимодействия, т. е. когда  $G \sim 10^{-12} \div 10^{-20}$  эрг/ед.деф, и, соответственно,  $\sigma \sim 10^{-22} \div 10^{-28}$  см $^2$  появление акустических волн насыщения становится невозможным, даже при 100% концентрации примесных парамагнитных центров.

Скорость акустической волны насыщения равна  $v_n = 2u_0 c N^{-1}$ , длина  $\lambda \sim v_n \tau^{-1}$ , частота  $\nu \sim \tau^{-1}$ , где  $u_0 = 1/2 \rho c^2 \epsilon^2 (\hbar v_0)^{-1}$  — плотность звуковой энергии в кристалле, т. е. при  $\epsilon \sim 10^{-8} \div 10^{-6}$  — относительная звуковая деформация,  $c \sim 10^6$  см·сек $^{-1}$ ,  $N = 10^{18}$  см $^{-3}$ , скорость  $v_n \sim 10 \div 10^5$  см·сек $^{-1}$ , соответственно.

Следовательно, появление акустических волн насыщения вполне возможно в диамагнитных кристаллах, содержащих магнитные ядра, и в кристаллах с парамагнитными примесями, что следует учитывать при наблюдении акустических магнитных резонансов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. В. М. Овчинников, В. Е. Харциев. Волна, просветленная в двухуровневых системах. Ж. эксп. и теор. физ., 1965, 49, 1 (7), 315—317.
2. E. L. Han. Spin echoes. Phys. Rev., 1950, 77, 5, 746.

Казанский физико-технический институт АН СССР

Поступило в редакцию  
16 марта 1970 г.

УДК 548.0:534

### МОНОКРИСТАЛЛЫ ПРУСТИТА КАК МАТЕРИАЛ ДЛЯ АКУСТО-ОПТИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

*В. В. Бадиков, С. В. Богданов, А. А. Годовиков, И. И. Зубринов,  
Д. В. Шелопут*

Приведены экспериментальные данные, на основании которых показана эффективность прустита в качестве материала для акусто-оптических устройств. Дано сравнение с уже известными материалами —  $\alpha$ -йодноватой кислотой и молибдатом свинца.

Один из перспективных методов управления лазерными пучками основан на взаимодействии света с ультразвуковыми волнами в фотоупругой среде. Эффективность и частотные характеристики основанных на этом методе акусто-оптических устройств определяются, с одной стороны, соответственными характеристиками электромеханических преобразователей, с другой стороны — совокупностью параметров рабочей среды.

Достигнутые в последние годы успехи в области разработки эффективных и широкополосных методов генерации ультразвуковых волн дают возможность значительно расширить полосы частот акусто-оптических устройств, вплоть до нескольких сотен мегагерц.

В то же время степень изученности веществ, обладающих фотоупругими свойствами, является совершенно неудовлетворительной. Не приходится говорить о том, что уже найдены и используются рабочие тела, обладающие оптимальным сочетанием свойств, поэтому является важной задача поиска новых материалов, существенно превосходящих известные. В этом направлении уже достигнуты определенные успехи — предложены материалы, повышающие эффективность акусто-оптических устройств в десятки раз [1—3].

Для сравнения материалов, применяемых в акусто-оптических устройствах, Диксоном [1] введен коэффициент качества  $M$ ; при одинаковых интенсивностях ультразвука эффективность материала определяется коэффициентом качества  $M = n^6 p^2 / \rho c^3$ ,

Акусто-оптические характеристики прустита,  $\alpha$ -йодноватой кислоты и молибдата свинца ( $\lambda = 0,6328$  мкм)

Материал	$Ag_3AsS_3$	$\alpha = HIO_3$	$PbMoO_4$
Коэффициент акусто-оптического качества по отношению к плавленному кварцу	260	55	24
Поляризация и распространение акустической волны	3—3	3—3	3—3
Поляризация и распространение света	1—2	1—2	1—2
Скорость звука, $c \cdot 10^3$ м/сек	2,65	2,44	3,75
Показатель преломления	2,98	2,0	2,37
Диапазон прозрачности, мкм	0,6—13,5	0,4—1,3	0,39—56
Фотоупругая постоянная $p_{23}$	0,2	0,5	0,487