

УДК 537.226.4

Евдокимов С.В., Яценко А.В.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОТОИНДУЦИРОВАННОГО МАКРОСКОПИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ В КРИСТАЛЛАХ $\text{LiNbO}_3:\text{Fe}$ ПРИ ИХ ОСВЕЩЕНИИ ЛИНЕЙНО ПОЛЯРИЗОВАННЫМ СВЕТОМ

Кристаллы ниобата лития LiNbO_3 являются очень перспективным материалом для использования в оптической и электронной аппаратуре. Одним из практически важных свойств этих кристаллов является их долговременная оптическая память, в основе которой лежит локальное изменение разности показателей преломления обыкновенного и необыкновенного луча под действием освещения – т.н. фоторефрактивный (ФР) эффект. Также было установлено, что при освещении разомкнутых образцов $\text{LiNbO}_3:\text{Fe}$ кроме ФР-эффекта наблюдается изменение скорости распространения упругой волны [1]. Вероятной причиной этого явления может быть действие локального пьезоэффекта, возникающего из-за формирования в освещаемой области кристалла фотоиндуцированного электрического поля E_{ph} . Таким образом, комплекс оптических, акустических и электрических свойств ниобата лития позволяет создавать на основе этого кристалла оптически регулируемые электроакустические фильтры и линии задержки. Очевидно, что для получения минимальных фазовых искажений обрабатываемого электрического сигнала поле E_{ph} должно быть максимально однородным в направлениях, нормальных к направлению распространения упругой волны. В связи с этим особое значение принимает исследование причин возникновения пространственной неоднородности поля E_{ph} и, следовательно, дальнейшее исследование механизмов его возникновения.

При освещении короткозамкнутых кристаллов $\text{LiNbO}_3:\text{Fe}$ линейно поляризованным светом фотоиндуцированные токи описываются тензором 3-го ранга β_{ijk} [1,2]:

$$j_i = \sum_{jk} \beta_{ijk} \cdot E_j \cdot E_k$$

где – E_j и E_k – компоненты поля световой волны вдоль осей j и k кристалла, j_i – плотность фотоиндуцированного тока вдоль i -й оси кристалла; $i, j, k = x, y, z$. При освещении поляризованным светом разомкнутого кристалла поле E_{ph} будет иметь отличные от нуля не только z (ось z совпадает с полярной осью кристалла), но и x и y компоненты. Отметим, что E_{ph} существенно влияет на структурное упорядочение ионов Nb^{5+} , и это проявляется в сильном влиянии освещения на форму центральной линии спектра ЯМР ^{93}Nb [4,5].

**Исследование фотоиндуцированного макроскопического
электрического поля в кристаллах $\text{LiNbO}_3:\text{Fe}$
при их освещении линейно-поляризованным светом**

Ниже представлены результаты изучения влияния освещения линейно-поляризованным светом монокристалла $\text{LiNbO}_3:\text{Fe}$ (0,07 масс.%) на параметры спектра ЯМР ^{93}Nb . Кроме экспериментов по исследованию формы линии ЯМР проводилось измерение фототоков короткого замыкания (ф.т.к.з.) в условиях, аналогичных режиму засветки разомкнутого кристалла.

Источником света являлась лампа накаливания с оптической системой, включающей поляризатор, теплопоглощающий фильтр и красный фильтр. Плотность мощности засветки составляла 19 мВт/см^2 , ось слаборасходящегося светового пучка была перпендикулярна оси симметрии 3-го порядка кристалла, совпадающей с осью z лабораторной системы. Для измерения ф.т.к.з. использовался специально разработанный электрометрический усилитель (погрешность измерения - не более 0.2 нА), регистрация осуществлялась двухкоординатным самописцем типа Н307/2.. Экспериментальные угловые зависимости плотности ф.т.к.з. j_x и j_z в кристалле $\text{LiNbO}_3:\text{Fe}$ (0,07 масс.%) кубической формы представлены на рис. 1.

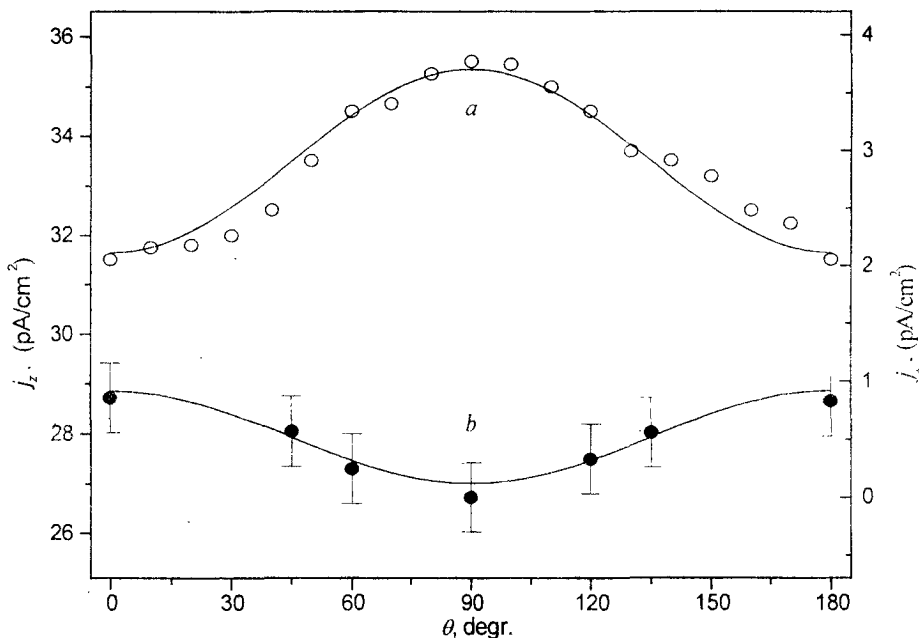


Рис.1. Угловые зависимости плотности фототоков короткого замыкания (а) j_z и (б) j_x при освещении образца линейно поляризованным светом. θ – угол между осью z кристалла и электрической компонентой поля световой волны.

Аппроксимация результатов проводилась выражением $j_{x,z}(\theta) = a + b \cdot \cos(2\theta)$ в соответствии с подходом, использованным в [2, 3]. Как видно из рис.1, такая аппроксимация угловой зависимости $j_z(\theta)$ недостаточно хорошо описывает экспериментальные данные. Аналогичная ситуация наблюдалась и в [3], однако анализ причин расхождения экспериментальных и теоретических данных выходит за пределы настоящей статьи.

Результаты измерений плотности ф.т.к.з. j_x и j_z можно использовать для расчета компонент поля E_{ph} , возникающем при освещении в том же режиме разомкнутого кристалла. В предположении аддитивности влияния E_z и E_x на параметры линии ЯМР ^{93}Nb [4, 5] были рассчитаны зависимости первого (M_1) и второго (M_2) моментов центральной линии спектра ЯМР ^{93}Nb от угла θ для заданного времени (40 мин.) освещения разомкнутого кристалла. Результаты расчета M_1 и данные эксперимента представлены на рис.2.

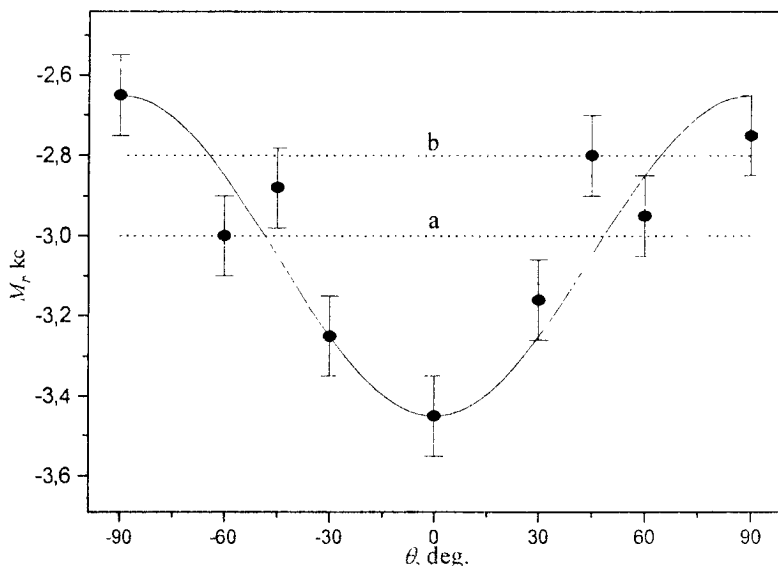


Рис.2. Ориентационные зависимости M_1 линии центрального перехода спектра ЯМР ^{93}Nb при освещении поляризованным светом. Значения M_1 до и после освещения кристалла неполяризованным светом представлены прямыми линиями (a) и (b) соответственно.

Расчет значений M_1 и эксперимент проводились при значении индукции магнитного поля $B_0=1\text{Т}$ и $\varphi=0$ (φ - угол между \mathbf{B}_0 и осью z кристалла). На этом же рисунке приведены значения M_1 до освещения кристалла и после засветки образца неполяризованным светом при той же плотности мощности и времени засветки. Из рис.2 видно, что расчетная зависимость и данные эксперимента совпадают вполне удовлетворительно в рамках погрешности ЯМР измерений. Это же относится и к экспериментальной и расчетной зависимостям $M_2(\theta)$. Однако из-за значительной относительной ошибки измерений $j_x(\theta)$ расчет поля E_x не является достаточно точным. В частности, остается открытым вопрос о знакопеременности $j_x(\theta)$ из-за противоречивости известных экспериментальных данных [2, 3] который требует дополнительного изучения.

Несмотря на предварительный характер полученных экспериментальных данных, их анализ снимает противоречие между предыдущими результатами изучения влияния засветки кристаллов $\text{LiNbO}_3:\text{Fe}$ He-Ne лазером на параметры

**Исследование фотоиндуцированного макроскопического
электрического поля в кристаллах $\text{LiNbO}_3:\text{Fe}$
при их освещении линейно-поляризованным светом**

спектров ЯМР ^{93}Nb [6, 7]. Показано, что на неоднородность E_{ph} влияет не только геометрия светового пучка, но и его поляризация.

Список литературы

1. Владимирцев Ю.В., Голенищев-Кутузов А.В. Индуцированные светом изменения скорости ультразвуковых волн в ниобате лития. // ФТТ. - 22. - 1980. - №1. - С.217-218.
2. Фридкин В.М., Магомадов Р.М. Аномальный фотовольтаический эффект в $\text{LiNbO}_3:\text{Fe}$ в поляризованном свете. // Письма в ЖЭТФ. 30. - 1979. - №11. С.723-726.
3. Festl H.G., Hertel P., Krätzig E., von Baltz R. Investigations of the photovoltaic tensor in doped LiNbO_3 . // Phys. Stat. Solidi B. 113. - 1982. - С.157-164.
4. Яценко А.В., Сергеев Н.А. Особенности ЯМР ^{93}Nb в LiNbO_3 и их связь с фоторефрактивным эффектом. // УФЖ. 33. - 1988. - №7. С.1101-1105.
5. Евдокимов С.В., Яценко А.В. Влияние освещения на внутрикристаллическое электрическое поле в кристаллах $\text{LiNbO}_3:\text{Fe}$. // Ученые записки Таврического национального университета. - 2000. - №2 (13). - С. 137-140.
6. Яценко А.В., Сергеев Н.А. Наведенная оптическая неоднородность в LiNbO_3 и разупорядочение ионов Nb^{5+} . // ФТТ. 27. - 1985. - №4. - С.1239-1241.
7. Богоносцев М.А., Голенищев-Кутузов В.А., Монахов А.А. и др. Изучение механизмов лазерного повреждения кристаллоа ниобата лития методом ЯМР. // Изв.АН СССР сер.физ. - 39. - 1975. - №4. - С.929-932.

Статья поступила в редакцию 04.04.2001 г.