

УДК 537.226.4

## ВЛИЯНИЕ ОСВЕЩЕНИЯ НА ВНУТРИКРИСТАЛЛИЧЕСКОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ В КРИСТАЛЛАХ $\text{LiNbO}_3$ : Fe

Евдокимов С. В.<sup>1</sup>, Яценко А. В.<sup>1</sup>

*При помощи метода ЯМР и измерения фототоков короткого замыкания исследуются механизмы влияния освещения на неоднородность внутрикристаллического электрического поля в кристаллах  $\text{LiNbO}_3$ . Установлено, что спектральный состав освещения сильно влияет на изменение внутрикристаллического поля. Делается вывод о активном участии в этом процессе примесных ОН групп.*

Ключевые слова: ниобат лития, ЯМР, фоторефрактивный эффект

Сегнетоэлектрические кристаллы  $\text{LiNbO}_3$  являются важным материалом для использования в нелинейной оптике и электроакустике. Эти кристаллы обладают уникальным комплексом свойств, одним из которых является изменение разности показателей преломления обыкновенного ( $n_o$ ) и необыкновенного ( $n_e$ ) лучей  $\Delta n = (n_o - n_e)$  под действием освещения - т.н. фоторефрактивный эффект. Для объяснения этого явления был предложен ряд механизмов, основным из которых считается объемный фотовольтаический эффект (ОФВЭ) [1]. В основе ОФВЭ лежит фотоионизация примесных ионов  $\text{Fe}^{2+}$  и последующая миграция фотоэлектронов в затемненную зону кристалла. Из-за объемного перераспределения примесных ионов  $\text{Fe}^{3+}$  и  $\text{Fe}^{2+}$  в освещенной области возникает фотоиндуцированное макроскопическое электрическое поле  $E_p$ , в среднем направленное вдоль полярной оси кристалла С ( $E_{pn} \leq 10^7 \text{ В м}^{-1}$ ), которое за счет электрооптического эффекта приводит к изменению  $\Delta n$ .

Одним из методов, которые очень чувствительны к изменению внутрикристаллического электрического поля является ядерный магнитный резонанс (ЯМР) квадрупольных ядер. Основной информацией, которую обеспечивает ЯМР, являются данные о величине градиента электрического поля (ГЭП) на квадрупольных ядрах, а также о разбросе параметров тензора ГЭП, который определяется несовершенством структуры кристалла. Ранее было установлено, что внешнее электрическое поле и освещение кристаллов  $\text{LiNbO}_3$ : Fe поляризованным и неполяризованным светом существенно влияют на форму линии центрального перехода ( $-1/2 \leftrightarrow +1/2$ ) спектра ЯМР  $^{93}\text{Nb}$  [2,3].

В настоящей работе представлены результаты комплексного изучения влияния освещения на структуру кристаллов  $\text{LiNbO}_3$ :Fe. Были проведены измерения фототоков короткого замыкания (ф.т.к.з.) при освещении кристаллов  $\text{LiNbO}_3$ :Fe (0.07 масс.%) разной геометрической формы неполяризованным светом при изменении спектрального состава излучения и в широком диапазоне плотности мощности засветки. На основании этих данных стандартным образом [1] выполнялся расчет зна-

<sup>1</sup> Кафедра физики твердого тела

чения z-компоненты напряженности поля ОФВЭ  $E_{ph}$  (направление z совпадает с полярной осью кристалла C) при освещении разомкнутого образца. По результатам расчета  $E_{ph}$  с применением данных исследования влияния поля  $E_z$  на первый момент ( $S_1$ ) линии ЯМР  $^{93}\text{Nb}$  вычислялось ожидаемое значение  $S_1$  (ось C параллельна внешнему магнитному полю  $B_0$ ) и эта же величина определялась экспериментально. Экспериментальные и расчетные (пунктирная линия) данные представлены на рис. 1.

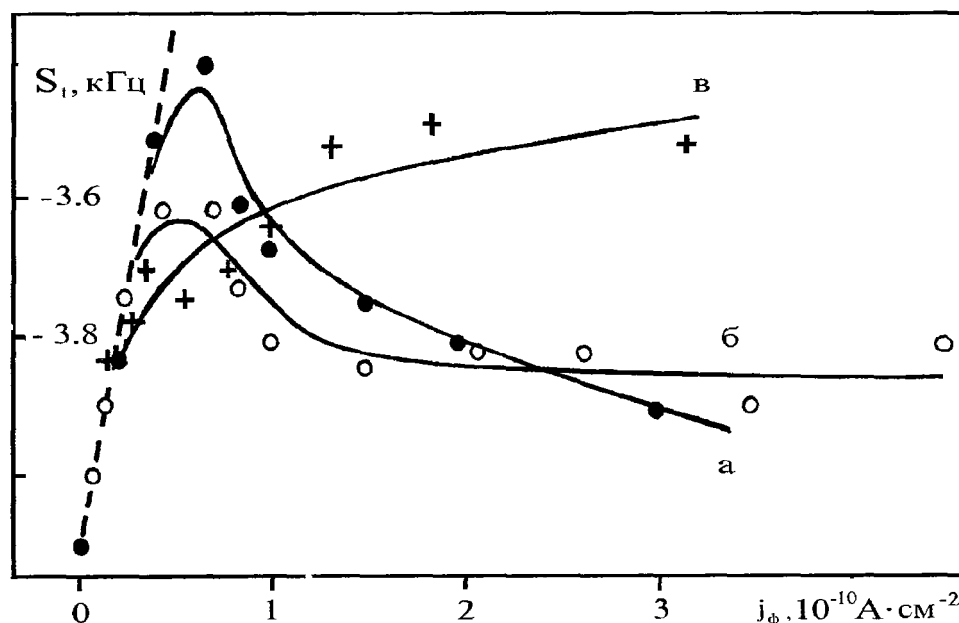


Рис.1. Зависимости  $S_1$  от  $j_\phi$  при освещении кристалла кубической формы лампой накаливания: а) без фильтров; б) теплопоглощающий фильтр; в) теплопоглощающий и красный фильтр.

Если в освещенной области кристалла формируется поле, обусловленное только ОФВЭ, то величина  $S_1$  при фиксированном значении плотности ф.т.к.з.  $j_\phi$  в пределах ошибки эксперимента ( $\pm 0.07$  кГц) не должна зависеть от спектрального состава источника света. Однако из рис.1 видно, что экспериментальные данные хорошо аппроксимируются расчетной зависимостью лишь при  $j_\phi \leq 25 \text{ пА} \cdot \text{см}^{-2}$ , а далее ход экспериментальных кривых сильно зависит от спектрального состава света.

Одной из возможных причин такого несоответствия может быть присутствие в кристалле ионов  $\text{H}^+$ , внедряющихся в структуру при росте из атмосферы [4] и образующие  $\text{OH}^-$  группы (полоса поглощения -  $3500 \text{ см}^{-1}$ ). В данном образце концентрация  $\text{OH}^-$  групп составляет  $1.5 \times 10^{-4}$  на формульную единицу. Предположим, что при освещении образца источником света со спектром, захватывающим ИК-область, кроме фотоионизации ионов  $\text{Fe}^{2+}$  происходит фотоионизация  $\text{OH}^-$  групп, сопровождаемая дрейфом ионов  $\text{H}^+$  во внутрикристаллическом поле  $E_m$ . Вне зависимости от типа фотоиндуцированных носителей тока на первоначальном этапе происходит

частичная компенсация исходной неоднородности макроскопической компоненты  $E_m$  [5] в освещенной зоне кристалла, сопровождаемое сужением линии ЯМР  $^{93}\text{Nb}$ . При дальнейшем увеличении  $E_p$  происходит “перекомпенсация” неоднородности  $E_m$ , что приводит к возобновлению уширения линии ЯМР [3]. Правильность предложенного механизма подтверждается результатами, полученными при освещении образца  $\text{LiNbO}_3:\text{Fe}$  с размерами  $3 \times 10 \times 15$  мм (длинная грань параллельна С), которые представлены на рис.2.

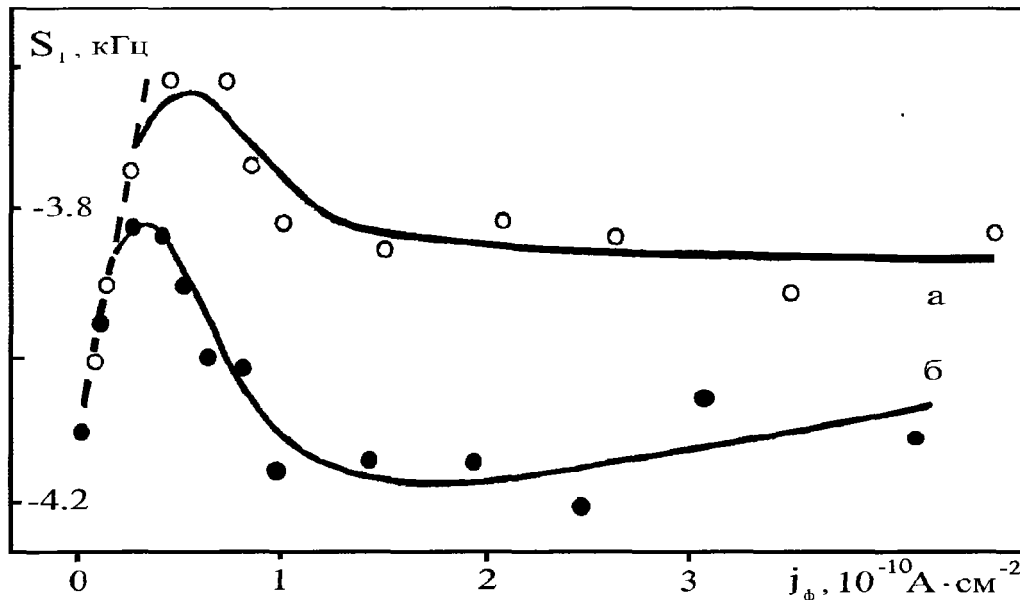


Рис.2. Зависимости  $S_1$  от  $j_\phi$  при освещении кристаллов  $\text{LiNbO}_3:\text{Fe}$  лампой накаливания с теплопоглощающим фильтром: а) образец кубической формы; б) пластинка размерами  $3 \times 10 \times 15$  мм.

Действительно, в случае кристалла, “вытянутого” вдоль оси С, неоднородность  $E_{ph}$  резко увеличивается при том же среднем значении  $\langle E_{ph} \rangle$  в освещенной области, и это приводит к дополнительному разупорядочению дипольных моментов октаэдров  $\text{NbO}_6$  [3] при меньших значениях  $E_{ph}$ .

Полученные результаты свидетельствуют о сильном влиянии геометрии освещаемого образца на неоднородность макроскопической компоненты полного внутрикристаллического поля ( $E_m + E_{ph}$ ) в освещенной области кристалла. Это полностью согласуется с экспериментами по влиянию формы светового пятна на фотоиндуцированное изменение  $\Delta n$  [1]. Предполагается, что ОН группы при освещении образцов  $\text{LiNbO}_3$  источником света с ИК-компонентой в спектре существенно влияют не только на величину ф.т.к.з. [6], но и на процессы формирования поля, обуславливающего фоторефрактивный эффект. Окончательные выводы о механизме влияния ОН групп на фоторефрактивные свойства кристаллов  $\text{LiNbO}_3$  могут

быть сделаны при исследовании ф.т.к.з. в образцах с прогрессивным увеличением концентрации ОН групп и сопутствующим измерением э.д.с. Холла.

### Список литературы

1. Леванюк А. П., Уюкин Е. М., Пашков В. А., Соловьева Н.М. Механизм фоторефрактивного эффекта в ниобате лития с железом. // ФТТ.- 1980.- т.22, №4.- С. 1161- 1168.
2. Яценко А. В., Сергеев Н. А. Фоторефрактивный эффект в  $\text{LiNbO}_3$  и его связь с ЯМР  $^{93}\text{Nb}$ . // ДАН УССР, сер.А. - 1985.- №12.- С.57-59.
3. Яценко А. В., Сергеев Н. А. Особенности ЯМР  $^{93}\text{Nb}$  в  $\text{LiNbO}_3$  и их связь с фоторефрактивным эффектом. // УФЖ.- 1988.- т.33, №7.- С.1101-1105.
4. Watanabe Y., Sota T., Suzuki K. et al. Defect structures in  $\text{LiNbO}_3$ . // J. Phys.: Condens. Matter.- 1995.- v.7.- С.3627-3635.
5. Яценко О. В., Максимова О. М., Сергеев М. О. Особливості моделювання спектрів ЯМР у неідеальних кристалах. // УФЖ.- 1999.- т.44, №11.- С.1390-1395.
6. Белабаев К. Г., Марков В. Б., Одулов С. Г. Фотогальванический эффект в восстановленных кристаллах ниобата лития. // УФЖ.- 1979.- т.24, №3.- С.366-371.

### Анотація

*Євдокімов, С.В. та Яценко О.В. Вплив освітлення на внутрішньокристалічне електричне поле у кристалах  $\text{LiNbO}_3$ : Fe // Вчені записки ТНУ, 2000, 99, No 1,*

*За допомогою методу ЯМР та вимірювання фотострумів короткого замикання досліджуються механізми впливу освітлення на неоднорідність внутрішньокристалічного електричного поля у кристалах  $\text{LiNbO}_3$ . Встановлено, що спектральний склад освітлення істотно впливає на змінення внутрішньокристалічного поля. Робиться висновок щодо активної участі у цьому процесі домішкових ОН груп.*

Ключові слова: ніобат літію, ЯМР, фоторефрактивний ефект.

### Summary

*Yevdokimov, S.V. and Yatsenko A.V. The influence of illumination on the internal electric field in  $\text{LiNbO}_3$ : Fe crystals // Uchenye zapiski TNU, 2000, 99, No 1,*

*By short-circuit photocurrents and NMR measurements in  $\text{LiNbO}_3$  samples the nature of light influence on non-uniformity of macroscopic internal electric field is investigated. It is estimated that the spectral composition of illumination influenced considerably on local field changing. It is concluded that OH groups play the significant role in this process.*

Keywords: : lithium niobate, NMR, photorefractive effect