

Магнитофоторефрактивный эффект в $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$

© М.П. Петров, В.М. Петров, П.М. Караваев

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук,
194021 Санкт-Петербург, Россия

(Поступила в Редакцию 25 апреля 1997 г.)

С помощью регистрации сигнала небрэгговской дифракции на осциллирующей голографической решетке впервые обнаружено влияние магнитного поля на голографическую запись в фоторефрактивном кристалле $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$.

Запись голограмм в фоторефрактивных средах связана с переносом заряда фотовозбужденных носителей. Поэтому вполне естественным является интерес к изучению влияния магнитного поля на процесс записи голограмм в этих материалах. Однако окисные фоторефрактивные кристаллы, такие как LiNbO_3 , $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$ и др., являются высокоомными материалами, поэтому влияние магнитного поля на запись голограмм за счет эффекта Холла на термолизованных носителях в этих кристаллах мало, так как низка дрейфовая подвижность. Тем не менее известны работы, в которых были предприняты попытки наблюдать влияние магнитного поля на фоторефрактивный эффект и голографическую запись в LiNbO_3 [1–3]. Причем в [1,3] такое влияние было обнаружено, а в [2] — нет. Для объяснения наблюдаемых эффектов в [3] была предложена модель [3,4], учитывающая изменение фотовольтаических токов при записи голограмм ортогонально поляризованными пучками [5] за счет приложения магнитного поля.

В настоящей работе сообщается о наблюдении магнитофоторефрактивного эффекта в $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$. При этом наибольшее внимание уделено проблеме достоверности получаемых экспериментальных данных. Использовалась методика голографической адаптивной интерферометрии, когда запись голограммы проводится двумя лучами, один из которых промодулирован по фазе с некоторой частотой ($\Omega/2\pi$) (рис. 1). При этом голограмма записывается интерференционной картиной, колеблющейся с частотой $\Omega/2\pi$ относительно своего среднего положения. Идея эксперимента заключается в том, чтобы обнаружить с помощью дифракции света влияние магнитного поля на осцилляции голографической решетки, поскольку осцилляции носят резонансный характер и в области резонанса чувствительность голографической записи к внешним воздействиям возрастает. Подробности методики описаны в [6]. В настоящей работе регистрировался сигнал, соответствующий первому небрэгговскому порядку дифракции (трехволновое взаимодействие), и одновременно регистрировались амплитуды U_Ω на частоте Ω и $U_{2\Omega}$ на частоте 2Ω . В качестве анализируемой экспериментальной величины выбрано отношение $R = U_{2\Omega}/U_\Omega$. Измерение именно этой величины позволяет свести к минимуму погрешности эксперимента, связанные с нестабильностью лазера и небольшой неконтролируемой разъюстировкой схемы

в течение длительного эксперимента вследствие изменения внешних условий, в том числе вследствие изменения магнитного поля. Кроме того, параметр R оказывается нечувствительным к возможным незначительным поворотам плоскости поляризации света, обусловленным магнитооптическим эффектом. Одновременно при этом обеспечивается высокая чувствительность схемы. Измерения проводились на монокристалле $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$, использованном в [6]. Толщина кристалла 0.7 mm, срез (110). Электрическое поле прикладывалось в основном вдоль оси $[1\bar{1}0]$. Внешнее электрическое поле прикладывалось с помощью несимметричной системы электродов, что обеспечивало существование как компоненты поля E_0 , параллельной оси $[1\bar{1}0]$, так и компоненты вдоль оси $[110]$, достигающей 10–20% от поля E_0 . Вектор записываемой голографической решетки K_g направлен вдоль оси $[1\bar{1}0]$. Магнитное поле направлено вдоль оси $[001]$, падающий свет поляризован также вдоль этой оси. Использовался постоянный магнит с поворачивающимся ярмом, остаточное поле в зазоре магнита 0.134 Т. Фазовая модуляция осуществлялась с помощью вибрирующего зеркала (рис. 1), амплитуда модуляции $\theta \approx 0.3$ rad. Интенсивность записывающего света 10^{-1} W/cm², отношение интенсивностей падающих на кристалл лучей R и S : $I_S/I_R = 3.3$, контраст интерференционной картины $m \approx 0.85$, модуль $K_g = 2\pi 12.8$ rad · mm⁻¹. На рис. 2 показана зависимость $R(H)$ для двух противоположных направлений электрического поля при $\Omega/2\pi = 8$ Hz. Выбор именно этой частоты обусловлен тем, что, как показали предварительные измерения, в нашем образце максимумы U_Ω и $U_{2\Omega}$ находятся в области 7–10 Hz. Из данных рис. 2 видно, что эффект изменения $R(H)$, во-первых, надежно регистрируется, во-вторых, имеет в основном осциллирующую компоненту по H и, в-третьих, зависит от взаимной ориентации H и E . Зависимость на рис. 3 практически целиком связана с осцилляциями U_Ω , в то время как изменения $U_{2\Omega}$ незначительны. Рис. 4 показывает зависимость R от частоты модуляции. Кроме того, были проведены измерения R в зависимости от электрического поля при различных H и обнаружено существенное влияние H . Было установлено также, что величина эффекта зависит от предыстории образца, т. е. от предварительной засветки и длительного нахождения в магнитном поле. Совокупность всех приведенных данных позволяет утверждать, что нами надежно

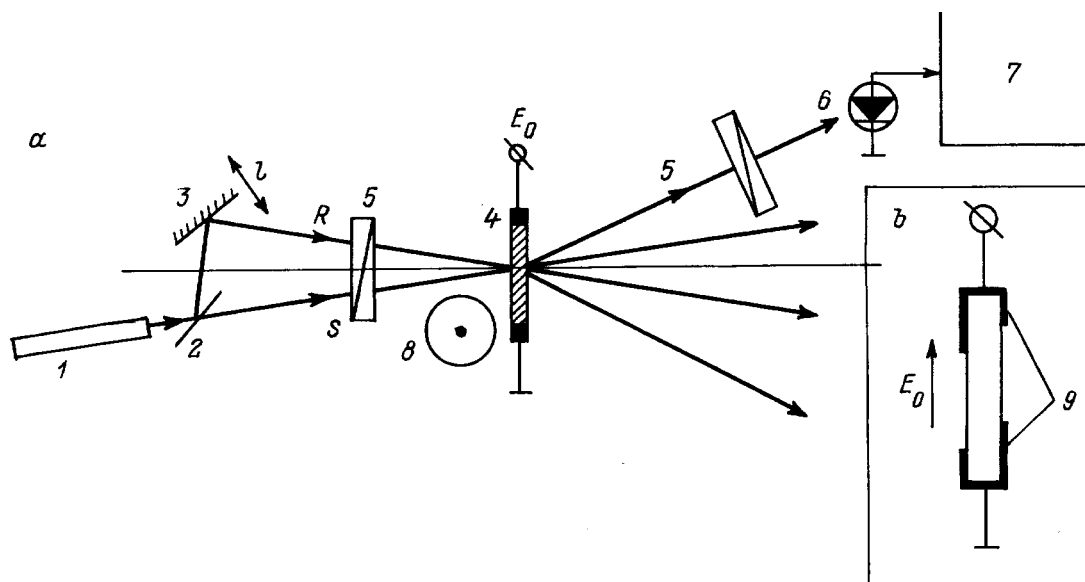


Рис. 1. а) Схема установки. 1 — He-Ne-лазер, 2 — светоделитель, 3 — вибрирующее зеркало, 4 — кристалл $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$, 5 — поляризаторы, 6 — фотодетектор, 7 — спектроанализатор, 8 — направление силовых линий магнитного поля, R, S — лучи, падающие на кристалл. б) Геометрия электродов на кристалле. 9 — электроды.

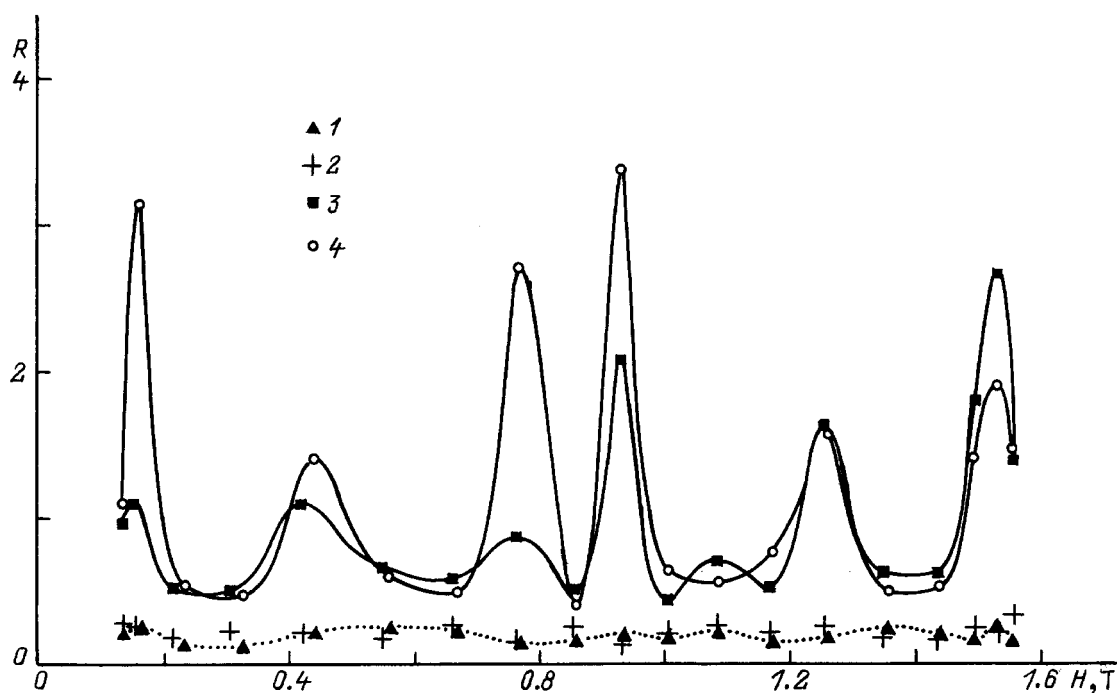


Рис. 2. Зависимости $R(H)$ при $\Omega/2\pi = 8$ Hz для значений поля $+6$ (1, 2) и -6 kV/cm (3, 4) при изменениях H от 0.134 до 1.5 Т (1, 3) и от 1.5 до 0.134 Т (2, 4).

обнаружено влияние магнитного поля на голографическую запись в фоторефрактивном кристалле $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$. Таким образом, впервые обнаружен магнитофоторефрактивный эффект в этом кристалле.

Для интерпретации наблюдаемых эффектов необходимо рассчитать величину R . Несложно получить те-

оретическое выражение для U_{Ω} в приближении малых амплитуд фазовой модуляции и $m \ll 1$. В то же время $U_{2\Omega}$ определяется несколькими конкурирующими механизмами, и однозначный расчет $U_{2\Omega}$ более сложен. Однако, поскольку экспериментально $U_{2\Omega}$ слабо зависит от H , то, пользуясь методом расчета электрического

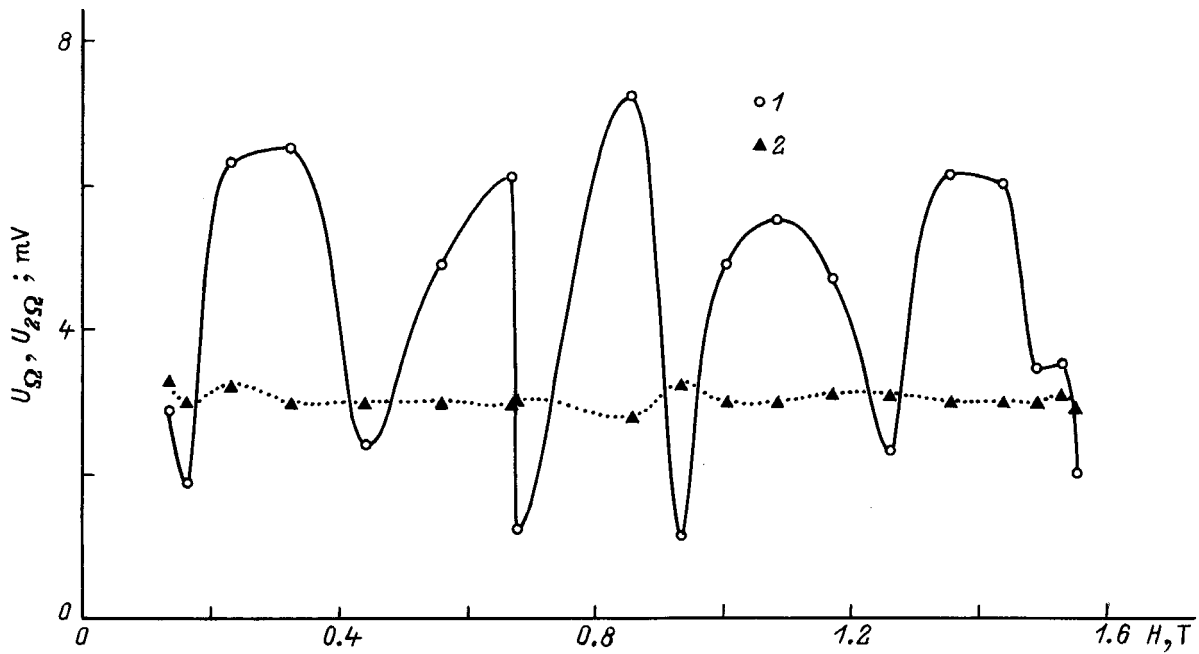


Рис. 3. Типичные зависимости $U_{\Omega}(H)$ (1) и $U_{2\Omega}(H)$ (2) для $E_0 = -6$ kV/cm при изменении H от 1.5 до 0.134 Т.

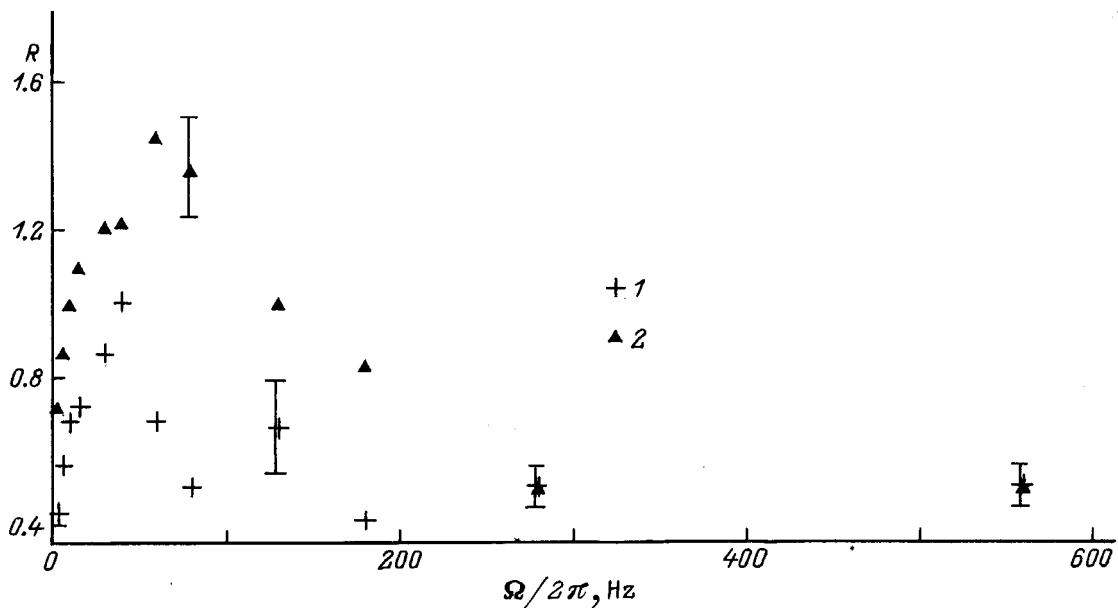


Рис. 4. Зависимости $R(\Omega/2\pi)$ для $H = 0.134$ Т (1) и 1.5 Т (2) при $E_0 = -6$ kV/cm.

поля решетки пространственного заряда при фазовой модуляции одного из записывающих лучей, описанным в [7], и используя данные [6], можно показать, что

$$R \approx C\theta(K_g\mu\tau E_0)^{-1}, \quad (1)$$

где C — коэффициент, зависящий от m . Здесь также принято допущение, что $K_g\mu\tau E_0 > 1$, и величина R рассчитана в точке Ω , удовлетворяющей условию $K_g\mu\tau E_0\Omega\tau_M = 1$, где μ — дрейфовая подвижность, τ —

время жизни носителей, τ_M — максвелловское время релаксации.

Эмпирически влияние внешнего магнитного поля может быть учтено путем замены E_0 в (1) на $E_0 + \Delta E$, где ΔE — некоторое эффективное электрическое поле, зависящее от величины H и взаимной ориентации E и H . Величина ΔE может достигать порядка E_0 . Физическая природа столь большого эффекта в настоящее время не вполне ясна. Эффект не может быть объяснен ни за счет магнитооптических явлений, ни за

счет обыкновенного эффекта Холла на термолизованных носителях при учете лишь одного типа носителей. В кристаллах со структурой силленита постоянная Верде ($V_r \approx 0.1-0.2 \text{ min} \cdot \text{Oe}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ [8]), холловская подвижность ($\mu \approx 2.5 \text{ cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ [9]) малы. Известные фотогальванические эффекты [10–12] также пренебрежимо малы, так как они дают соответствующие поля много меньше 1 В. Теоретический анализ описанных экспериментов затруднен тем обстоятельством, что в действительности в голографической записи принимают участие как электроны, так и дырки; кроме того, голографическая запись происходит в нелинейном режиме [6], поскольку m близко к единице. В этом случае существует большое число процессов дифракции на осциллирующих решетках, вносящих вклад в один и тот же наблюдаемый дифракционный пик, и результирующий сигнал будет весьма чувствительным к фазовым соотношениям между различными решетками. Возможно, что влияние магнитного поля на эти фазовые соотношения и объясняет большую величину наблюдаемого эффекта. Влияние магнитного поля на голографическую запись за счет фазовых сдвигов решеток на свободных носителях рассматривалось в [13].

Обнаруженная зависимость наблюдаемого эффекта от предыстории образца может быть связана с участием мелких ловушек в процессе генерации или захвата фотовозбужденных носителей.

Список литературы

- [1] А.Р. Погосян, Б.Н. Попов, Е.М. Уюкин. ФТТ **24**, 9, 2551 (1982).
- [2] И.Ф. Канаев, В.К. Малиновский, А.М. Пугачев. ФТТ **29**, 3, 692 (1987).
- [3] C. Dam-Hansen, P.M. Johansen, P.M. Petersen, V.M. Fridkin. Phys. Rev. **B52**, 13 098 (1995).
- [4] C. Dam-Hansen, P.M. Johansen, P.M. Petersen, V.M. Fridkin. J. Opt. Soc. Am. **B13**, 2286 (1996).
- [5] С.Г. Одулов. Письма в ЖЭТФ **35**, 10 (1982).
- [6] M.P. Petrov, V.M. Petrov, I.S. Zouboulis, L.P. Xu. Opt. Comm. **134**, 569 (1997).
- [7] M.P. Petrov, I.A. Sokolov, S.I. Stepanov, G.S. Trofimov. J. Appl. Phys. **68**, 2216 (1990).
- [8] Волоконно-оптические датчики / Т. Окоси, К. Окамото, М. Оцу, Х. Нисихара, К. Кюма, К. Хататэ. Пер. с яп. Л. (1990). 256 с.
- [9] S.L. Sochava, K. Buze, E. Kratzig. Phys. Rev. **B51**, 4684 (1995).
- [10] М.П. Петров, А.И. Грачев. Письма в ЖЭТФ **30**, 18 (1979).
- [11] A.I. Grachev, M.P. Petrov. Ferroelectrics **43**, 181 (1982).
- [12] В.Г. Лазарев, В.М. Фридкин, А.Л. Шленский. Письма в ЖЭТФ **44**, 275 (1986).
- [13] В.Л. Винецкий, Н.В. Кухтарев, С.Г. Одулов, М.С. Соскин. ЖТФ **47**, 6, 1270 (1977).