

07;08;12

Брэгговское отражение оптических и акустических волн от оптически наведенных периодических структур в ниобате лития с примесью железа

© Н.М. Ушаков, В.В. Колосов

Институт радиотехники и электроники РАН, Саратовское отделение
E-mail: nmu@mail.saratov.ru

Поступило в Редакцию 28 апреля 2001 г.

В окончательной редакции 7 августа 2001 г.

Экспериментально показана возможность отражения гиперзвуковых продольных волн от фотоиндуцированной брэгговской решетки в фоторефрактивной среде, такой как $\text{LiNbO}_3:\text{Fe}$. Полученные результаты могут быть полезны для разработки светоуправляемых акустических линий задержки.

В одной из первых работ по исследованию индуцированного светом изменения скорости поперечных акустических волн в ниобате лития [1] было отмечено, что в кристалле в месте освещения лазерным пучком одновременно с изменением показателя преломления происходит изменение скорости сдвиговых волн. Наличие подобного эффекта предполагает возможность резонансного отражения акустических волн от оптически индуцированной периодической структуры.

В настоящей работе проведены экспериментальные исследования фотоиндуцированных решеток, записанных в кристаллах $\text{LiNbO}_3:\text{Fe}$ в видимом оптическом диапазоне и брэгговского рассеяния оптических и акустических волн на этих решетках.

Эксперименты проводились на монокристаллах ниобата лития с концентрацией примеси железа 0.02 w.%. Образец в форме бруска поперечного сечения $3 \times 5.5 \text{ mm}$ и длиной 52 mm ориентирован так, что большое ребро его было параллельно главной оптической оси звукопровода (ось С). На одном из торцов, перпендикулярных этой оси, располагался электроакустический пленочный пьезопреобразователь из окиси цинка, возбуждаемый уплощенной спиралью в диапазоне 400–900 MHz. Эффективность на одно преобразование продольной акустической волны

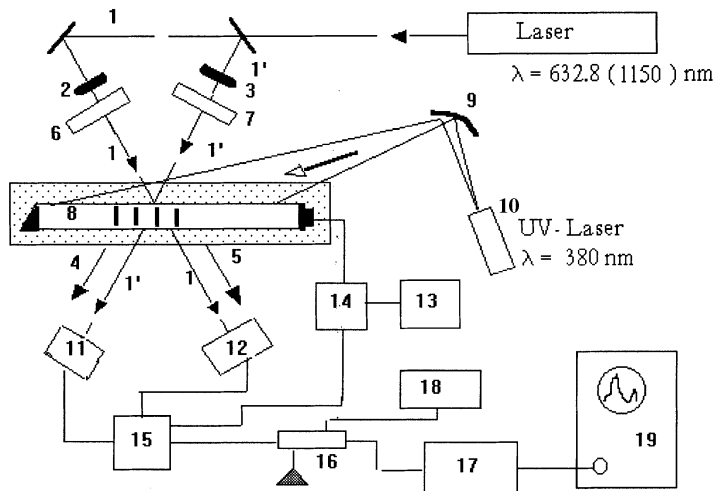


Рис. 1. Схема экспериментальной установки измерения характеристик брэгговского рассеяния оптических и акустических волн от оптически индуцированной решетки в пьезоэлектрической фоторефрактивной среде.

составляла ≈ 6 dB. Ввод оптического излучения осуществлялся через грань, имеющую размеры 3×52 mm и параллельную оптической оси.

На рис. 1 изображена схема экспериментальной установки измерения характеристик брэгговского рассеяния оптических и акустических волн от оптически индуцированной решетки в пьезоэлектрической фоторефрактивной среде. Оптический лазерный пучок с помощью формирующей оптической системы, состоящей из делителя, оптических затворов (2, 3), цилиндрических линз (6, 7) формируется в виде двух скрещенных плоских пучков ортогональной поляризации (1, 1'). Эти пучки сходятся в фокальных плоскостях одинаковых цилиндрических линз в главной плоскости кристалла, где происходит формирование оптически индуцированной решетки. Кристалл ниобата лития (8) закреплен на гониометрическом столике. Угол между двумя скрещенными пучками равен 2θ . Стирание записанных решеток обеспечивалось расходящимся пучком, формируемым с помощью рефлектора (9) от лазерного источника (10) с длиной оптической волны 380 nm.

Радиоизмерительная часть установки представлена супергетеродинным СВЧ приемным трактом, состоящим из двух быстродействующих фотодетекторов (11, 12), СВЧ направленного ответвителя со смесителем (16), усилителя промежуточной частоты (17), СВЧ гетеродина (18) и осциллографа (19). Возбуждение гиперзвука в кристалле осуществлялось СВЧ генератором (13) в диапазоне от 400 до 1200 МГц. Коммутация прямых и отраженных СВЧ сигналов проводилась с помощью коаксиальных переключателей (14, 15).

Прием фотосигналов с СВЧ модулирующей частотой осуществлялся методом лазерного гетеродинирования на фотосмесителе при попадании на приемную площадку детектора двух коллинеарных оптических пучков с частотой ω и $\omega \pm \Omega$, где ω — частота дифрагированного на оптически индуцированной решетке светового пучка (1) при закрытом затворе (3) или пучка I' при закрытом затворе (2), $\omega \pm \Omega$ — частота I' и I световых пучков, дифрагированных на акустических волнах в кристалле соответственно. Чувствительность приема СВЧ сигналов при лазерном гетеродинировании составляла — 120 dB.

Для записи оптически индуцированной решетки на длине волны $0.63 \mu\text{m}$ использовались два плоских скрещенных оптических пучка мощностью 1.5 mW. Формирующая система позволяла изменять длину записываемой решетки от 1 до 18 mm. При этом угол падения θ изменялся в пределах 2.17–2.3 градуса, а период решетки принимал значение от 7.8 до $8.3 \mu\text{m}$. Запись и контроль решетки осуществлялись на двух длинах волн (0.63 и $1.15 \mu\text{m}$) с помощью брэгговской дифракции одного из скрещенных необыкновенных оптических пучков (I или I') на фотоиндуцированной решетке. Фиксация записанных решеток осуществлялась по методу, описанному в [2].

Известно, что эффективность брэгговского рассеяния на периодической структуре I_d/I_0 определяется соотношением [3]:

$$I_d/I_0 = \sin^2(\pi \Delta n L_1 / \Lambda), \quad (1)$$

где $\Lambda = V/f$ — период решетки, Δn — изменение показателя преломления, L_1 — длина взаимодействия или решетки, V — скорость акустической волны, f — частота возбуждения гиперзвука.

С другой стороны, изменение показателя преломления необыкновенного луча при направлении внутреннего поля E_s вдоль оси S или Z в

электрооптической среде определяется, как [4]:

$$\Delta n_e = -0.5ne3r_{33}E_{sz}. \quad (2)$$

Из выражений (1) и (2) нетрудно определить наведенное внутреннее поле E_s в кристалле $\text{LiNbO}_3:\text{Fe}$ [001]:

$$E_s = (2\Lambda/\pi L_1 n_e^3 r_{33}) \arcsin(I_d/I_0)^{1/2}, \quad (3)$$

где n_e — показатель преломления необыкновенного луча; r_{33} — электрооптический коэффициент ниобата лития при направлении электрического поля вдоль оси Z . Параметр эффективности дифракции и длина взаимодействия находятся из эксперимента.

Ширина фотоиндуцированной решетки в направлении, перпендикулярном оптической оси, составляла от 2 до 18 мм. Для измеренной 80% эффективности дифракции на длине волны $0.63 \mu\text{m}$ из выражения (1) нетрудно определить изменение показателя преломления Δn_e . Для указанных выше параметров амплитуда возмущения показателя преломления необыкновенного луча составляет $\Delta n_e = 1.1 \cdot 10^{-4}$, что хорошо согласуется с известными литературными данными (см., например [4,5]). Величины внутреннего индуцированного электрического поля E_s для указанных параметров, согласно (3), составляет $E_s \approx 7.4 \cdot 10^6 \text{ V/m}$.

Рассмотрим теперь акустическую часть проведенных исследований. При записи фотоиндуцированной решетки периодическое индуцированное электрическое поле E_s из-за нелинейного пьезоэлектрического эффекта приводит к изменению скорости акустической волны. Для постоянного электрического поля E_s и механически зажатого кристалла эффективный модуль упругости C_{ijkl}^* можно записать в виде [6]:

$$C_{ijkl}^* = C_{ijkl} - e_{mijkl}E_m.$$

Нетрудно показать, что $\Delta V(E)/V(0) = \Delta C^*(E)/2C(0)$. Для $C_{3333} = 2.279 \cdot 10^{11} \text{ N/m}^2$ и $e_{3333} = -17.3 \text{ C/m}^2$ относительное изменение скорости гиперзвуковой волны составит $\Delta V(E)/V(0) \approx 2.81 \cdot 10^{-4}$.

По аналогии с (1) коэффициент отражения для акустической волны R_{ac} может быть определен из соотношения:

$$R_{ac} = I_r/I_0 = \sin^2(\pi(\Delta V(E)/V(0))L_z/\Lambda),$$

где L_z — длина решетки вдоль оси Z , Λ — длина акустической волны.

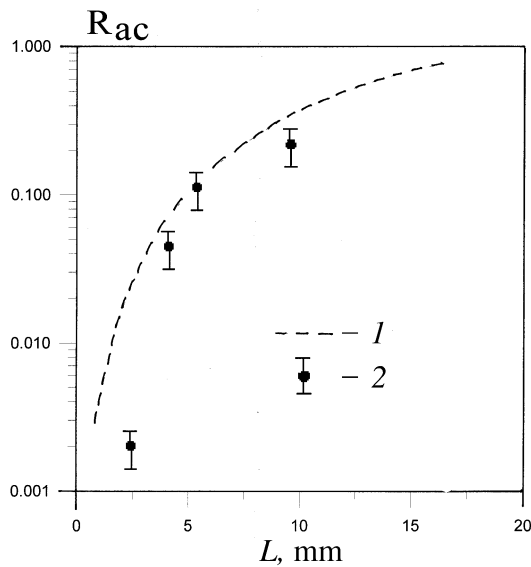


Рис. 2. Зависимости коэффициента отражения акустической волны R_{ac} от длины фотоиндуцированной решетки L . Период решетки равен длине продольной акустической волны на частоте 840 МГц. 1 — теория, 2 — эксперимент.

Продольная акустическая волна, возбуждаемая пленочным преобразователем, распространяется вдоль решетки. При условии, что длина акустической волны вдвое больше периода решетки, выполняется условие брэгговского отражения акустической волны от решетки. Измеренное значение коэффициента отражения акустической волны составляло, например, при длине решетки 2.6 mm и частоте 420 МГц всего 0.01, что согласуется с результатами расчета.

На рис. 2 изображены зависимости коэффициента отражения акустической волны от длины решетки, вдоль которой она распространяется. Период решетки соответствовал длине акустической волны, возбуждаемой на частоте 840 МГц. Пунктирная линия отражает расчетные данные, полученные импедансным методом [7].

Оптическое формирование решетки как периодического отражателя или элемента распределенной обратной связи акустических волн возможно на любом расстоянии от акустического преобразователя.

Возможности хорошо отработанной техники оперативной записи и стирания решеток позволяют считать, что светуправляемое отражение акустических волн в фоторефрактивных средах может найти широкое применение в ряде устройств обработки информации, например, в качестве линий задержки СВЧ сигналов с регулируемым временем задержки.

Список литературы

- [1] *Владимирцев Ю.В., Голенищев–Кутузов А.В.* // ФТТ. 1980. Т. 22. В. 1. С. 217–218.
- [2] *Канаев И.Ф., Малиновский В.К., Суровцев Н.В.* // ФТТ. 2000. Т. 42. В. 11. С. 2079–2083.
- [3] *Ребрин Ю.К.* Управление оптическим лучом. М: Сов. радио, 1977. 335 с.
- [4] *Кузьминов Ю.С.* Ниобат и тангалат лития. Материалы для нелинейной оптики. М: Наука, 1975. 223 с.
- [5] *Zgonik M., Schlessler R., Biaggio I.* et al. // J. Appl. Phys. 1993. V. 74. N 2. P. 1287–1297.
- [6] *Zaitsev B.D., Kuznetsova I.E.* // IEEE Trans. on Ultrasonics, Ferroel. and Frequency contr. 1996. V. 43. N 4. P. 701–707.
- [7] *Haus H.A.* Waves and fields in optoelectronic. 1984. Prentice–Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey 07632.