

- [4] Груздев В. А. // Изв. вузов. Сер. физ. 1970. № 5. С. 136—138.
 [5] Груздев В. А., Осипов И. В., Ремле Н. Г. // Тез. докл. VII Всесоюзн. симп. по сильноточной электронике. Томск, 1988. Ч. 1. С. 95—97.

Институт электрофизики УрО АН СССР

Поступило в Редакцию
4 мая 1989г.

06: 07

Журнал технической физики, т. 60, в. 4, 1990

© 1990 г.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ГОЛОГРАММНОЙ И АКУСТИЧЕСКОЙ ДИФРАКЦИОННЫХ ОБЪЕМНЫХ РЕШЕТОК В ФОТОРЕФРАКТИВНОМ КРИСТАЛЛЕ $\text{LiNbO}_3 : \text{Fe}$

А. Л. Дмитриев, О. В. Смирнова, Д. К. Тасев

Фоторефрактивный кристалл $\text{LiNbO}_3 : \text{Fe}$ удачно сочетает в себе свойства регистрирующего материала для фазовых объемных голограмм [1, 2] с высокими акустическими качествами [1, 3]. Это создает возможность использования взаимодействия нестационарной акустической и фиксированной голограммной объемных дифракционных решеток для построения высокоскоростных устройств обработки информации. Впервые данные вопросы обсуждались, по-видимому, в [4]. В работах [5, 6] исследовалось отражение акустических волн объемной отражательной решеткой, зарегистрированной в кристалле $\text{LiNbO}_3 : \text{Fe}$, при этом внимание уделялось особенностям распространения СВЧ акустических сигналов до 1.5 ГГц. В настоящей работе описаны результаты эксперимента по оптической дифракции на пропускающей голограммной решетке в кристалле $\text{LiNbO}_3 : \text{Fe}$, возбуждаемом акустической волной, длина которой близка к периоду голограммной решетки.

Взаимодействие акустической и голограммной дифракционных решеток в простейшем случае можно описать суперпозицией изменений показателя преломления материала, обусловленных фиксацией фазовой голограммы $\Delta n_1(z)$ и наведенных акустической волной $\Delta n_2(z, t)$. При этом одномерное распределение $n(z, t)$ показателя преломления в голограмме-звукопроводе (ГЗ) примет вид

$$n(z, t) = n_0 + \Delta n_1(z) + \Delta n_2(z, t), \quad (1)$$

где $n_0 \gg \Delta n_1, \Delta n_2$ — средний показатель преломления материала.

Высокочастотный электрический сигнал $s(t)$, подводимый к электроакустическому преобразователю ГЗ, обуславливает модуляцию показателя преломления материала вида

$$\Delta n_2(z, t) = as(t - z/v), \quad (2)$$

где a — размерный коэффициент, связанный с акустооптической добротностью материала; v — скорость звука.

Для широкого класса импульсных сигналов $s(t)$ методами голографии либо экспонирования с использованием амплитудных масок в материале звукопровода можно сформировать согласованное распределение показателя преломления $\Delta n_1(z)$, при котором в фиксированные моменты времени t_0 , кратные периоду импульсного сигнала $s(t)$, сумма второго и третьего слагаемых в (1) обращается в нуль. В моменты времени, близкие к t_0 , распределение показателя преломления в материале ГЗ становится почти однородным (n_0) и дифрагированные лучи исчезают, что при фоторегистрации соответствует импульсному отклику оптического фильтра, согласованного с данным сигналом $s(t)$.

В описываемом эксперименте рассмотрен наиболее простой случай взаимодействия гармонического ВЧ сигнала $s(t)$ с синусоидальной пропускающей голограммной решеткой. Оптическая схема записи пропускающей голограммы в фоторефрактивном кристалле изображена на рис. 1, а. Длина волны излучения лазера 532 нм, схема совмещения коллимированных пучков света выполнена аналогично интерферометру Майкельсона, угол θ пересечения пучков равен 20 угл. мин, период решетки $d=88$ мкм. Ось C кристалла лежит в плоскости падения параллельно большой грани образца 10 размером $3 \times 8 \times 18$ мм, электрический вектор поляризации света перпендикулярен плоскости падения. На торцевой

поверхности образца посредством медно-индиевой связки смонтирован электроакустический пьезопреобразователь в виде пластины ($Y+36^\circ$)-среза LiNbO_3 толщиной 35 мкм; полоса рабочих частот пьезопреобразователя 70—110 МГц.

На рис. 1, б показана схема фоторегистрации излучения, дифрагирующего на ГЗ. Коллимированный пучок света от однододового He—Ne лазера (тип ЛГ-126, длина волны излучения $\lambda=633$ нм) падает на симметричную пропускающую голограммную решетку под углом $\alpha=12$ угл. мин к нормали. Эффективность дифракции излучения в 1-м порядке в режиме,

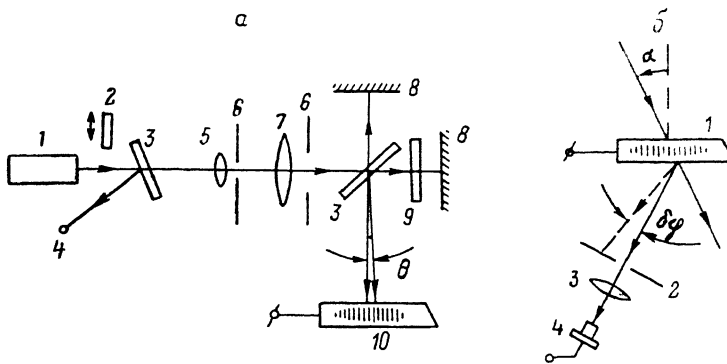


Рис. 1.

a — оптическая схема записи пропускающей голограммы: 1 — лазер ЛТИ-701, 2 — затвор, 3 — светоделитель, 4 — фотоприемник, 5 — микрообъектив, 6 — диафрагмы, 7 — объектив-коллиматор, 8 — зеркала, 9 — светофильтр, 10 — кристалл LiNbO_3 ; Fe; *b* — оптическая схема дифракции света на пропускающей голограмме, возбуждаемой акустической волной: 1 — голограмма-звукпровод, 2 — диафрагма, 3 — линза, 4 — фотодиод ФДЛ-118.

промежуточном по отношению к режимам Брэгга и Рамана—Ната (параметр Кляйна $Q \approx 0.8$) [7], около 0.5%. Дифрагированный на голограмме пучок света после прохождения диафрагмы 2 диаметром $D=1.0$ мм фокусируется на фоточувствительной поверхности фотодиода, выходной сигнал которого исследуется на спектроанализаторе типа СК4-59.

При подаче на пьезопреобразователь ГЗ непрерывного сигнала от ВЧ генератора с частотой f_1 , близкой к $f_{01}=v/d$, в спектре фототока в полосе частот до 110 МГц уверенно регистрируются два сигнала биений (рис. 2). Частота наиболее мощного сигнала равна f_1 , частота f_2 второго сигнала связана с f_1 линейной зависимостью $f_2 = \Delta f - f_1$, где $\Delta f = c/2L \approx 141$ МГц — частота межмодовых биений лазера ЛГ-126 (c — скорость света,

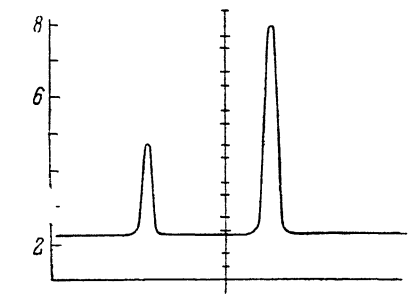


Рис. 2. Спектр биений фототока на выходе фотоприемника.
Масштаб по горизонтали 1 МГц/дел., максимальный сигнал на частоте 72.4 МГц, лог.

L — длина резонатора лазера). Зависимость амплитуды f_1 — сигнала от частоты при постоянном уровне мощности подводимого к преобразователю сигнала показана на рис. 3, а. На рис. 3, б приведена зависимость амплитуды f_1 — сигнала от мощности подводимого сигнала при фиксированном значении частоты.

Возможны две физически эквивалентные интерпретации наблюдаемого f_1 — сигнала фототока. Согласно первой этот сигнал возникает вследствие периодических изменений эффективности дифракции света на голограммной решетке, вызванных изменениями величины амплитуды модуляции показателя преломления фазовой решетки. Периодическое (c периодом f_1^{-1}) полное «стирание» голограммной решетки происходит в моменты времени, для которых распределение показателя преломления статической решетки $\Delta n_1(z) \propto \cos 2\pi z/d$ находится строго в противофазе с изменениями $\Delta n_2(z, t) \propto \cos(2\pi z/d_2 - 2\pi f_1 t)$ показателя преломления материала ГЗ, обусловленными бегущей акустической волной. Наиболее эффективное, по всей ее длине, «стирание» голограммной решетки обеспечивается при равенстве длины волны d_2 звука и периода d голограммной решетки, а также равенстве соответствующих амплитуд модуляции показателя преломления среды. При ненулевой величине $\epsilon =$

$|d_2 - d|$ по мере роста ε область компенсации изменений показателя преломления Δn_1 и Δn_2 сужается, что приводит к уменьшению амплитуды модуляции интенсивности дифрагированного на ГЗ света. В другой интерпретации сигнал f_1 представляет собой биения, зарегистрированные при интерференции пучков света, дифрагировавших на статической голограммной решетке и на бегущей акустической волне. Вследствие эффекта Допплера частота последнего смещена относительно частоты падающего на ГЗ света на величину f_1 , равную частоте биений, а амплитуда сигнала биений зависит от угла $\delta\varphi$ совмещения пучков (рис. 1, б). При оптическом гетеродинировании необходимо выполнение условия $\delta\varphi \ll \lambda/D$,

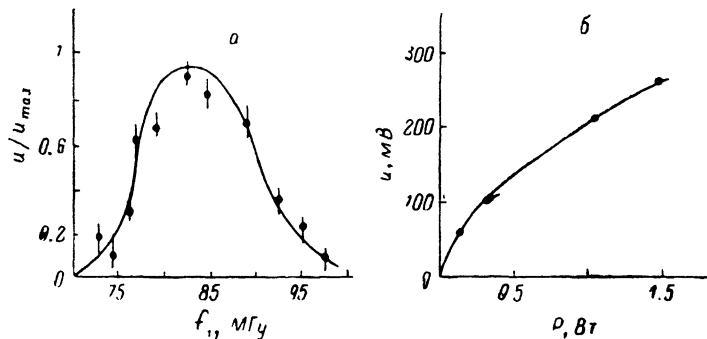


Рис. 3.

a — частотная зависимость амплитуды сигнала биений, мощность подводимого к ГЗ электрического сигнала $P=1$ мВт; *б* — зависимость амплитуды и сигнала биений от мощности P электрического сигнала, $f_1=83.5$ МГц.

где D — диаметр пучка света, откуда, учитывая пропорциональность $\delta\varphi$ и величины δf допустимого отклонения частоты звука от оптимального значения $f_{10}=v/d$

$$\delta\varphi = \frac{\lambda}{v} \delta f, \quad (3)$$

имеем $\delta f \ll v/D$. В эксперименте $v \approx 7.3 \cdot 10^3$ м/с, $D \approx 1$ мм и $\delta f \ll 7.5$ МГц, что хорошо согласуется с частотной зависимостью наблюдаемого f_1 — сигнала на рис. 3, *a*.

Эффективность использования взаимодействия акустической волны с объемной голограммой в полной мере должна проявиться при обработке электрических импульсных сигналов сложной формы, при этом их максимальная длительность не превышает L/v (L — длина кристалла), т. е. практически лежит в диапазоне единиц — долей микросекунды. Оптические устройства обработки сигналов, использующие указанный принцип, могут найти применение в устройствах сжатия импульсов либо при идентификации (распознавании) высокочастотных импульсных сигналов произвольной сложной формы.

Авторы признательны Л. Н. Пресленеву за содействие в эксперименте.

Список литературы

- [1] Кузьминов Ю. С. Электрооптический и нелинейно-оптический кристалл ниобата лития. М.: Наука, 1987. 264 с.
- [2] Петров М. П., Степанов С. И., Хоменко А. В. Фоточувствительные электрооптические среды в голографии и оптической обработке информации. Л.: Наука, 1983. 270 с.
- [3] Дьелесан Э., Руайе Д. Упругие волны в твердых телах / Под ред. В. В. Леманова. М.: Наука, 1982. 424 с.
- [4] Дмитриев А. Л. // ЖТФ. 1976. Т. 46. Вып. 3. С. 580—586.
- [5] Oates D. E., Gottschalk P. G., Wright P. V. // Ultrasonic Symp. Proc. N. Y. IEEE. New York, 1984. P. 97—102.
- [6] Oates D. E. // 1986 Ultrasonic Symp. Proc. N. Y. IEEE. New York, 1986. Vol. 1. P. 327—337.
- [7] Применение методов фурье-оптики // Под ред. Г. Старка. М.: Радио и связь, 1988. 536 с.

Поступило в Редакцию
11 мая 1989 г.