

- [1] D a w s o n P.H. // Int. J. Mass Spectrom. Ion. Phys. 1974. V. 14. N 4. P. 317-337.
- [2] К у з ь м и н А.Ф. // Квадрупольный масс-спектрометр. Авт. свид. № 957318, Бюлл. изобр. и откр., № 33, 1982.
- [3] Г а л л ь Р.Н., Е л о х и н В.А., П р о т о п о п о в С.В., Ч е р н е ц к и й С.М. Тезисы докладов 1У Всесоюзной конф. по масс-спектрометрии. Сумы, 1986, с. 87.

Поступило в Редакцию
27 марта 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 12
03.6; 07

26 июня 1989 г.

ОПТИЧЕСКИ УПРАВЛЯЕМЫЕ ТЕРМОУПРУГИЕ ДЕФОРМАЦИИ КРИСТАЛЛА $Bi_{12}SiO_{20}$

А.М. Б л и з н е ц о в, А.В. Х о м е н к о

Кубический кристалл $Bi_{12}SiO_{20}$ (BSO) является фоторефрактивным [1]. При освещении в нем образуется объемный заряд, электрическое поле которого вызывает двулучепреломление кристалла за счет линейного электрооптического эффекта. Это позволяет использовать кристаллы BSO для записи голограмм и в пространственно-временных модуляторах света. Кроме того, в [2] показано, что поле фотоиндуцированного заряда может вызывать упругие деформации поверхности кристалла BSO , вызванные обратным пьезоэлектрическим эффектом. Такие деформации носят нестационарный характер, возникают после включения освещения и затем исчезают. Величина деформаций при плотности интенсивности светового воздействия до 10^{-4} Вт/см² не превышает 70 Å.

В данной работе исследуются стационарные деформации поверхности пластин кристалла BSO , которые возникают при больших интенсивностях засветки (в наших экспериментах до 65 мВт/см²). Деформации возникают, если одновременно с засветкой в кристалле создается продольное электрическое поле. Зарегистрированы смещения, величина которых достигает долей микрона. Формой и величиной деформаций кристалла можно управлять оптически, изменяя засветку кристалла. Это позволяет использовать исследованный эффект для пространственно-временной модуляции света. Экспериментально показано, что при этом может быть достигнута дифракционная эффективность $\sim 10\%$.

В экспериментах использовались образцы кристалла BSO , представляющие собой круглые пластины диаметром 22 мм. Пластины имели толщину 0.45-0.7 мм и ориентацию (111) или (110).

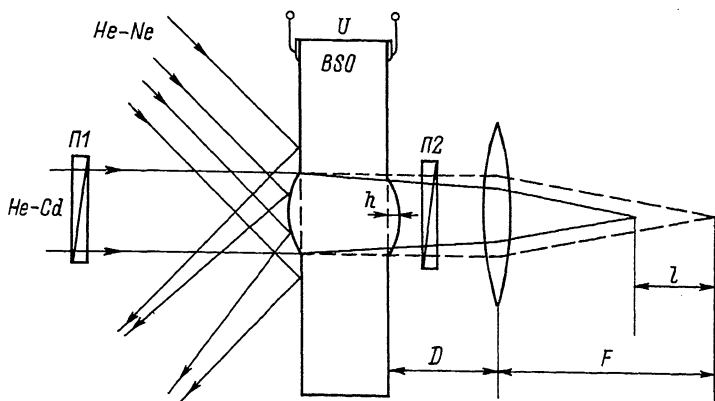


Рис. 1. Схема эксперимента.

На противоположные поверхности пластин напылялись прозрачные электроды из $In_2O_3 - SnO_2$, к которым прикладывалось постоянное (до 2 кВ) или знакопеременное синусоидальное напряжение с амплитудой до 1 кВ. Таким образом, в кристалле создавалось продольное, т.е. направленное вдоль направления распространения света электрическое поле. Деформации поверхности возникали при освещении кристалла светом $He - Cd$ лазера, интенсивность которого изменялась светофильтрами.

Величины и формы деформаций исследовались двумя независимыми методами: с использованием отраженного от деформированной поверхности считывающего света $He - Ne$ лазера и проходящего через кристалл записывающего света $He - Cd$ лазера (рис. 1). В обоих случаях к электродам прикладывалось напряжение U и светом $He - Cd$ лазера на кристалл проектировалось изображение круглой диафрагмы. Диаметр изображения мог меняться от 0.2 до 2 мм. Отраженный коллимированный пучок света $He - Ne$ лазера, который практически не вызывал деформаций из-за слабого поглощения, рассеивался в области кристалла, освещенной $He - Cd$ лазером. Это свидетельствовало о локальной деформации поверхности. Анализ характера рассеяния показал, что в области освещения кристалла синим светом поверхность принимает линзоподобный выпуклый вид. Такая деформация имеет место как со стороны кристалла, освещенной синим светом, так и на противоположной поверхности. Деформации достигали максимального значения за время, соответствующее плотности экспозиции кристалла синим светом $\sim 10^{-2}$ Дж/см². После этого при постоянном освещении кристалла величина и характер деформаций не изменялись. При выключении освещения или напряжения поверхность кристалла возвращалась к исходному состоянию. Характер деформации не изменялся при смене полярности прикладываемого к электродам напряжения.

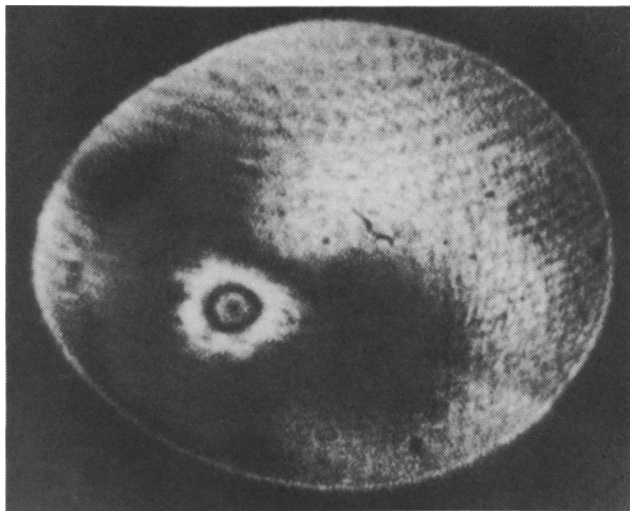


Рис. 2. Интерферограмма деформированной поверхности кристалла с ориентацией (111). Кружком слева внизу указан размер (0.5 мм) освещенного $He-Cd$ лазером участка.

Для определения формы деформаций и измерения их величины был применен метод голографической интерферометрии [3]. Голограмма изображения недеформированной поверхности записывалась в реальном масштабе времени на фоторефрактивном кристалле $Bi_{12}TiO_{20}$ светом $He-Ne$ лазера. После возникновения деформаций наблюдалась интерференция изображения деформированной поверхности и изображения, восстановленного с голограммы (рис. 2). По числу интерференционных полос на освещенном $He-Cd$ лазером участке поверхности кристалла можно оценить максимальную величину прогиба h . При $U = 2$ кВ и интенсивности $I = 65$ мВт/см² $h \sim 0.3$ мкм, что соответствует индексу фазовой модуляции $\sim 2\pi$.

Интерферограммы, показанные на рис. 2, свидетельствуют, что деформация поверхности носит анизотропный характер, т.е. зависит от кристаллографического направления. В частности, для образцов кристалла с ориентацией (111) деформация имеет симметрию третьего порядка. Анизотропия деформации уменьшается с уменьшением диаметра участка кристалла, освещаемого синим цветом. При диаметре менее 0.3 мм деформации регистрировались как изотропные.

Для более точного количественного определения амплитуды смещения был использован эффект самофокусировки нерасходящегося узкого луча записывающего света $He-Cd$ лазера после прохождения через созданную им самим кристаллическую линзу. Эксперимент (рис. 1) состоял в измерении уменьшения l фокусного

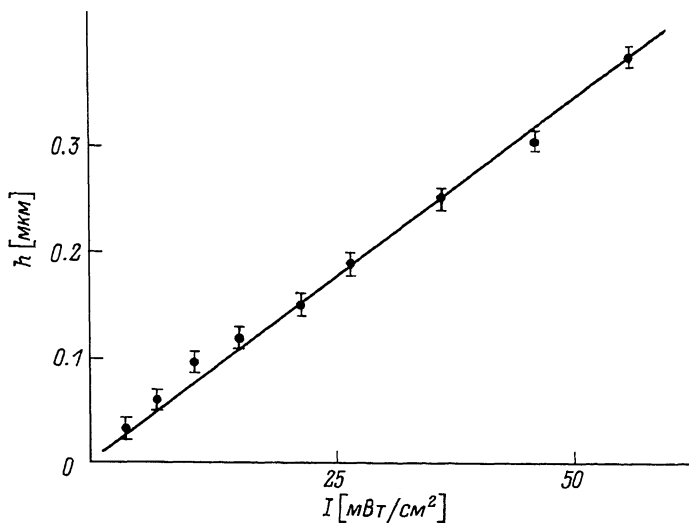


Рис. 3. Зависимость стационарной величины прогиба поверхности кристалла h от плотности мощности I излучения $He - Cd$ лазера. $U = 2$ кВ.

расстояния оптической системы „деформированный кристалл и объектив“. Обусловленная поперечным электрооптическим эффектом [1] и нежелательная в данном случае автомодуляция записывающего света подавлялась поляридом П2, соосным поляриду П1. Поскольку наблюдаемый нулевой порядок дифракции не искажался, деформированную поверхность в пределах освещенного $He - Cd$ лазером участка можно считать приближенно сферической. В этом случае $h \approx \frac{d^2 I}{8F(D-F)}$, где d – диаметр изображения (≈ 2 мм), F – фокусное расстояние объектива, D – расстояние между кристаллом и объективом. На рис. 3 приведена рассчитанная на основе измерений величины I зависимость $h(I)$. Совпадение максимальной достигнутой величины $h \sim 0.3$ мкм, рассчитанной данным способом, и той же величины, измеренной с помощью метода голографической интерферометрии (рис. 2), позволяет пренебречь вкладом упругооптического эффекта [4] в модуляцию проходящего через кристалл света.

Наблюдавшиеся в наших экспериментах деформации поверхности BSO , имеющие при длительном освещении стационарный характер и не зависящие от полярности приложенного к электродам напряжения, могут быть объяснены термоупругими напряжениями в кристалле. Основным источником тепла в этом случае является фототок через кристалл. В исследованных образцах фототок достигал стационарного значения 60 мкА за время 0.5 с при напряжении на элект-

тродях 2 кВ и мощности синей засветки 1 мВт. Таким образом, тепловыделение за счет протекания тока более чем на порядок превосходило световую мощность, поглощаемую кристаллом. Стационарное значение фототока пропорционально мощности засветки кристалла. Это объясняет линейность зависимости $h(I)$, а также то, что деформации не были обнаружены без приложения напряжения к электродам.

Для численных оценок величины h смещенной поверхности в центре освещаемой области были использованы известные из литературы коэффициент термического расширения α кристалла $Bi_{12}GeO_{20}$, который близок по параметрам к BSO ($\alpha = 1.3 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$ [5]), и величина теплоемкости окиси висмута Bi_2O_3 (0.25 Дж/г·К [6]). Поскольку продольные механические напряжения на свободной поверхности кристалла равны нулю, то оценка смещения может быть выполнена по формуле

$$h \approx \frac{\alpha c \Delta T L}{2}, \quad (1)$$

где $L = 500$ мкм – толщина экспериментального образца, $c = 2$ – коэффициент, рассчитываемый по известным значениям модулей упругости кристалла BSO [4, 5], ΔT – изменение температуры в освещаемой части кристалла. Без учета теплоотвода за время достижения стационарного значения деформации освещаемая часть кристалла массой 10^{-2} г должна изменить температуру на 25 К. Экспериментально с помощью термопары, касающейся кристалла в области засветки синим светом, получено близкое значение $\Delta T = 19$ К. При таких нагревах по формуле (1) получено $h \approx 0.3$ мкм, что находится в хорошем соответствии с экспериментальными данными. Таким образом, выполненные оценки подтверждают предположение об эффекте термоупругости как причине наблюдаемых деформаций.

Отметим, что возможность оптического управления кривизной сферических деформаций позволяет использовать исследованный эффект для создания оптически управляемых микролинз с переменным фокусным расстоянием.

Авторы выражают искреннюю благодарность А.А. Камшилину за предоставленные кристаллы $Bi_{12}TiO_{20}$.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Петров М.П., Степанов С.И., Хоменко А.В. Фоточувствительные электрооптические среды в голографии и оптической обработке информации. Л.: Наука, 1983.
- [2] Близначев А.М., Петров М.П., Хоменко А.В. // Письма в ЖТФ. 1984. Т. 10. № 18. С. 1094–1098.
- [3] Kamshilin A.A., Petrov M.P. // Opt. Comm. 1985. V.53. N 1. P. 23–26.

- [4] С и р о т и н Ю., Ш а с к о л ь с к а я М.П. Основы кристаллофизики. М.: Наука, 1979.
- [5] Акустические кристаллы / Под ред. Шаскольской М.П. М.: Наука, 1982.
- [6] Г о р о н о в с к и й И.Т., Н а з а р е н к о Ю.П., Н е к р я ч Е.Ф. Краткий справочник по химии. Киев: Наукова Думка, 1987. С. 293.

Физико-технический
институт им. А.Ф. Иоффе
АН СССР, Ленинград

Поступило в Редакцию
5 апреля 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 12
06.3; 12

26 июня 1989 г.

ФОКУСИРУЮЩАЯ РЕШЕТКА НА ВОЛОКНЕ И СПОСОБ ЕЕ ИЗГОТОВЛЕНИЯ

А.С. С в а х и н, В.А. С ы ч у г о в,
А.Е. Т и х о м и р о в

Создание дифракционной решетки на поверхности волоконного световода открывает новые возможности для реализации различных элементов и устройств оптических систем связи, систем обработки информации, а также датчиков физических величин. Одним из таких устройств является спектроанализатор, выполненный на базе одномодового волоконного световода, на сполитированной боковой поверхности которого нанесена дифракционная решетка [1]. Конкретная реализация такого устройства, имеющего линейную дисперсию, равную 25 А/мм, например, для анализа спектров излучения полупроводниковых лазеров с $\lambda = 0.85$ мкм, требует использования соответствующего одномодового волокна решетки с периодом $\Lambda = 0.38$ мкм и линзового объектива с фокусным расстоянием 10 см. Слабым местом спектроанализатора такого типа является использование линзового объектива. В связи с этим естественно попытка вместо линзы использовать решетку переменного периода, фокусирующее выходящее из волокна излучение на некотором заданном расстоянии [2]. Обычным способом создания фокусирующих решеток является голографический метод, в котором засветка фоточувствительного слоя производится двумя когерентными пучками света. При этом один из этих пучков света имеет плоский волновой фронт, а другой — сферический [3]. Использование указанной двухлучевой схемы записи фокусирующей решетки сопряжено обычно с рядом сложностей, которые легко можно исключить при использовании так называемой однолучевой схемы записи решетки. Эта схема записи широко используется в интегральной оптике при создании решеток постоянного периода. При этом плоское отражающее зеркало устанавливается