

- of rare-earth doped bismuth germanate ($\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$) // *Mat. Res. Bull.*—1972.— V. 7.— P. 181.
7. Weber M. J., Monchamp R. R. Luminescence of $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$: spectral and decay properties // *J. Appl. Phys.*—1973.— V. 44.— P. 5496.
 8. Moncorgé R., Jacquier B., Boulon G. Temperature dependent luminescence of $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$. Discussion on possible models // *J. Lum.*—1976.— V. 14.— P. 337.
 9. Петров С. А., Четвергов Н. А., Нурiev Э. И. Некоторые особенности фотолюминесценции ортогерманата висмута // *ФТТ.*—1986.— Т. 28, вып. 11.
 10. Dieguer E., Arizmendi L., Cabrera J. M. X-ray induced luminescence, photoluminescence and thermoluminescence of $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ // *J. Phys. C: Solid State Phys.*—1985.— V. 18, N 24.— P. 4777.
 11. Луцник Ч. Б., Луцник Н. Е., Язк И. В. Электронно-колебательные процессы в центрах люминесценции ионных кристаллов // *Изв. АН СССР. Физика.*—1962.— Т. 26, № 4.
 12. Гудаев О. А., Гусев В. А., Петров С. А. и др. Оптические свойства эвлитнинов // *Изв. вузов. Физика.*—1986.— Т. 29, вып. 10.
 13. Timmermance C. W. M., Vosn Ho. O., Blasse G. The luminescence of $\text{Bi}_2\text{Ge}_3\text{O}_9$ // *Solid State Commun.*—1982.— V. 42, N 7.— P. 505.
 14. Bortfeld D. P., Meier H. Refractive indices and electrooptic coefficients of the enlities $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ and $\text{Bi}_4\text{Si}_3\text{O}_{12}$ // *J. Appl. Phys.*—1972.— V. 43, N 12.— P. 5110.
 15. Викторov Л. В., Кружалов А. В., Каргин В. Ф. и др. Импульсная катодолуминесценция германата висмута // *Журн. прикл. спектроскопии.*—1984.— Т. 1, № 6.
 16. Blasse G. The physics of new luminescent materials // *Mater. Chem. and Phys.*—1987.— V. 16, N 3/4.— P. 201.
 17. Калентьев В. А., Каргин В. Ф., Каргин Ю. Ф. и др. Термостимулированная экзoeлектронная эмиссия монокристаллов германата висмута // *Изв. АН СССР. Неорган. материалы.*—1987.— Т. 23, № 3.

Поступила в редакцию 4 января 1988 г.

УДК 772.99 : 537.226.4

А. В. КНЯЗЬКОВ, Ю. С. КУЗЬМИНОВ

(Москва)

ФОТОРЕФРАКТИВНЫЕ СВОЙСТВА КРИСТАЛЛОВ НИОБАТА БАРИЯ — СТРОНЦИЯ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В ДИНАМИЧЕСКОЙ ГОЛОГРАФИИ

Взаимодействие оптического излучения в фоторефрактивных сегнетоэлектрических средах широко исследуется в целях создания систем оптической памяти [2 — 5, 7, 9, 11, 36], преобразователей волновых фронтов [25 — 32, 37] и параметрических генераторов света [33, 34]. Среди сегнетоэлектриков наиболее чувствительны к фоторефракции кристаллы с кислородно-октаэдрической структурой такие, как LiNbO_3 , LiTaO_3 и $\text{Ba}_x\text{Sr}_{1-x}\text{Nb}_2\text{O}_6$ (НБС $x/1-x$). Кристаллы LiNbO_3 и LiTaO_3 являются наиболее изученными [38]. Кристаллы титаната бария не стойки к внешним воздействиям, требуют стабилизации внешних условий. Кристаллы ниобата бария — стронция (НБС) выгодно отличаются возможностью изменения химического состава и содержания структурных дефектов и, таким образом, управления электрооптическими и фоторефрактивными свойствами. Они обладают структурой тетрагональной калий-вольфрамовой бронзы, где каждая элементарная ячейка содержит десять VO_6 октаэдров, структурная формула которой может быть записана в виде $[(A1)_2(A2)_4C_4][(B1)_2(B2)_8]O_{30}$. В положениях B1 и B2 находятся ионы Nb, а в положениях A1 и A2 — ионы Sr и Ba. На пять ионов ячейки приходится шесть возможных положений (A1 + A2), т. е. НБС кристалл имеет «незаполненную» структуру. Положения C вакантны, что соответствует условию электронейтральности структуры. Для такой структуры характерны нарушение стехиометрии и благоприятные условия замещения ионов и заполнения пустот положений A1, A2 и C легирующими примесными атомами.

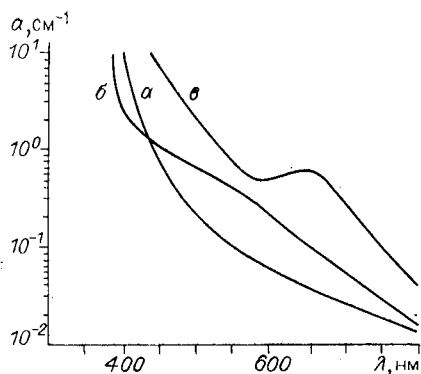


Рис. 1. Зависимость коэффициента поглощения α от длины волны для номинально чистого кристалла НБС 39/61 (а) и легированного церием, введенным в позиции структуры А2, с координационным числом 12 (б) и церием, введенным в вакантные позиции С, с координационным числом 9 (в) [15]

Кристаллы НБС имеют высокие электрооптические коэффициенты γ , что позволяет реализовывать высокоэффективную фоторефрактивную запись на образцах небольшой толщины $\sim 1-2$ мм. Размытый фазовый переход и сравнительно низкая температура

Кюри дают возможность электрического фиксирования голограмм и управления их дифракционной эффективностью [2—5]. Обратимость фоторефрактивной записи, высокая чувствительность и значительный электрооптический эффект кристаллов НБС обуславливают хорошие перспективы их применения в динамической голографии.

Впервые НБС-кристаллы были синтезированы в 1960 г. [1]. Возможность фоторефрактивной записи двумерной информации для оптической памяти в кристаллах $Ba_{0,25}Sr_{0,75}Nb_2O_6$ (НБС 25/75) на длине волны $\lambda = 633$ нм продемонстрирована в [2]. В этих кристаллах можно осуществлять электрическое управление не только процессами фоторефрактивной записи, но и дифракционной эффективностью при считывании записанных голограмм. В обычных условиях длительность хранения фоторефрактивной записи в основном определяется временем максвелловской релаксации пространственного заряда фотоносителей, захваченных на глубокие уровни ловушек. Для сегнетоэлектриков с низким коэрцитивным полем поляризации существует возможность электрической фиксации голографической записи путем частичной локальной поляризации, переводящей периодическое поле пространственного заряда в периодическую доменную структуру, стабильную при считывании в нулевом поле. Стирание достигается при полной поляризации образца. Этот механизм фиксации и стирания голограмм был успешно реализован в кристаллах НБС 25/75 [3, 4]. Детальное исследование голографической записи и считывания в кристаллах НБС 25/75 проведено в [5]. Наблюдали увеличение чувствительности записи в электрическом поле и влияние вклада квадратичного эффекта в электрооптический эффект, что позволило перевести голограмму в скрытое состояние с нулевой дифракционной эффективностью с помощью электрического поля. По этому принципу создан макет многослойной голографической памяти с электрической адресацией заданных слоев.

Чувствительность к фоторефракции η определяется коэффициентом поглощения α (рис. 1), подвижностью μ , квантовым выходом β и временем жизни фотоносителей τ : $\eta \sim (\alpha\beta\mu\tau)$. Причем $\alpha\beta$ характеризует фотовозбуждение в свободную зону, а $\mu\tau$ является параметром переноса [6]. Повышение чувствительности фоторефрактивной записи достигается увеличением концентрации «химических» и структурных дефектов. «Химические» дефекты обычно создаются легированием подходящими примесями металлов, а структурные — окислительно-восстановительным отжигом в соответствующей атмосфере. Наилучшие результаты по увеличению чувствительности в НБС кристаллах были достигнуты легированием церием. Первое сообщение о сенсбилизации кристаллов НБС легированием Се сделано в [7]. Введение церия способствовало возникновению широкой полосы поглощения в спектральной области около 0,5 мкм. Легирование 0,1 мас. % SeO_2 приводило к увеличению коэффициента поглощения излучения с длиной волны $\lambda = 488$ нм от 1 до 10 см^{-1} и чувствительность возрастала на четыре порядка. Было сдела-

по предположению, что легирование Се увеличивает квантовый выход фотогенерации носителей. На определяющую роль процессов фотовозбуждения примеси Се в фоторефрактивном эффекте указывает также работа [8], в которой в нелегированных кристаллах НБС 25/75 был обнаружен значительный эффект остаточной проводимости, уменьшающий длительность хранения записи. Обнаружен способ полевого гашения остаточной проводимости, увеличивающий длительность хранения, как в случае электрической фиксации [3].

Выяснению механизма фоторефракции в кристаллах НБС и роли Се в увеличении чувствительности η , а также возможностей их использования в качестве носителя информации в голографическом запоминающем устройстве посвящена работа [9]. Исследования проводились на кристаллах конгруэнтно плавящегося состава $(\text{Ba}_{1-x}\text{Sr}_x)_{1-y}(\text{Nb}_2\text{O}_6)_y$ ($x = 0,61$; $y = 0,4993$) с легированием 0,05 и 0,10 мас. % CeO_2 по шихте. Запись осуществлялась на длине волны $\lambda_3 = 440$ нм, а считывание — $\lambda_c = 633$ нм. Установлен диффузионный механизм записи, обусловливающий нелокальный фоторефрактивный отклик. Легирование церием увеличивало поглощение «записывающего» луча и уменьшало на два порядка темновую проводимость, что приводило к увеличению дифракционной эффективности до 50 % ($\lambda_c = 633$ нм). Оценка длительности хранения записи ~ 9 мес и количества циклов записи $\sim 10^5$. Предложено использование диффузионного механизма записи в НБС:Се для усиления слабых световых потоков. Дальнейшие исследования фоторефрактивной записи в кристаллах НБС:Се, проведенные в [10—12], указывают на возрастание квантового выхода фотогенерации носителей и уменьшение диффузионной длины фотоносителей при увеличении степени легирования церием. Установлена высокая чувствительность η для излучения с длиной волны $\lambda_3 = 633$ нм.

Наиболее вероятная валентность церия в кристаллах НБС может быть 3 или 4. В структуре этого кристалла ионы Ce^{3+} и Ce^{4+} встраиваются соответственно в позиции А2 и С, имеющие координационные числа окружения $n_{A2} = 12$ и $n_C = 9$. Ионы Ce^{3+} являются донорами, а Ce^{4+} — акцепторами [13]. Обычно фотоионизация иона церия записывается следующим образом: $\text{Ce}^{3+} + h\nu = \text{Ce}^{4+} + e$, электрон переходит в зону проводимости [14]. В зависимости от того, в какую позицию встраивается ион церия, спектры поглощения существенно различаются [15]. Кристаллы НБС с церием в позициях А2 обладают розовым цветом и широкой полосой поглощения в спектральной области 0,5 мкм (рис. 1, кривая б). Встраивание церия в узлы С изменяет цвет кристаллов на зеленовато-желтоватый и сдвигает максимум полосы поглощения в длинноволновую область спектра $\lambda_{\text{max}} = 650$ нм, увеличивая спектральное поглощение (рис. 1, кривая в).

В работе [16] обнаружено, что введение церия в кристаллы НБС в позиции А2 приводит к исчезновению люминесценции в области энергий квантов света 1—4 эВ. При этом не наблюдалось насыщения оптического поглощения при увеличении плотности интенсивности света до 10^6 Вт/см², что позволило оценить время жизни фотовозбужденного состояния церия менее чем 10 пс. Температурные исследования показали, что темновая проводимость характеризуется энергией активации 1 эВ, а фотопроводимость — набором энергий активации 0,4; 0,2; 1 эВ. На основании этих и вышеприведенных результатов предложена следующая модель центра церия в кристалле НБС (рис. 2). Энергетический уровень иона Ce^{3+} конфигурации $4f^1$ расположен в запрещенной зоне на 1 эВ ниже края зоны проводимости. Поглощение света обусловлено внутрицентровыми переходами с возбуждением иона Ce^{3+} в состояние с конфигурацией $5d^1$, которая способствует быстрому переходу возбужденного электрона в зону проводимости, а для иона Ce^{4+} приводит к захвату свободного электрона и безызлучательной релаксации. Захват ионом Ce^{3+} электрона с образованием иона Ce^{2+} дает вклад в фоторефрактивное поле пространственного заряда. Захват электронов ионами

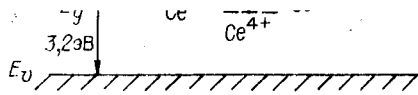


Рис. 2. Зонная модель центра Се в кристалле НБС 39/61 [16]

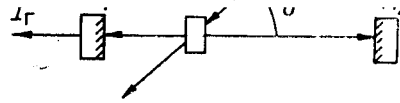


Рис. 3. Оптическая схема самонакачивающегося обрабатывающегося зеркала [29]

Ce^{4+} в освещенной области приводит к образованию Ce^{3+} и препятствует насыщению поглощения.

До недавнего времени исследования фоторефрактивных свойств кристаллов НБС были в основном направлены на изучение возможности применения их в качестве обратимых сред голографической памяти. Основное внимание уделялось свойству длительного хранения объемного заряда, создающего фотоэлектрическое состояние в сегнетоэлектрических средах, которое не самое уникальное для регистрирующих материалов с одновременным проявлением записанной информации. Процессы одновременной записи и считывания, происходящие в динамической голографии, сопровождаются преобразованиями взаимодействующих световых полей и наиболее интересны для применений фоторефрактивных сред. Динамическая голографическая запись в кристаллах НБС используется для усиления слабых оптических сигналов [9, 19], в виброметрии и интерферометрии реального времени [21 — 23, 35], для коррекции и обращения волнового фронта [25 — 28, 31, 32], для создания параметрических генераторов света [33, 34].

Одним из основных параметров динамической голографии является коэффициент голографического усиления Γ , характеризующий энергообмен взаимодействующих пучков при локальном рассогласовании голограммы относительно записывающей интерференционной картины:

$$\Gamma = \frac{1}{d} \ln \left(\frac{I_{10}}{I_{-10}} \frac{I_{-1}}{I_1} \right), \quad (1)$$

где I_{10} , I_{-10} и I_1 , I_{-1} — интенсивности соответственно на входе и выходе голограммы; d — толщина голограммы.

Коэффициент усиления Γ определяется оптическими и электрооптическими параметрами среды, концентрацией центров захвата и зависит от внешних условий записи [17].

Другим важным свойством, характеризующим многоволновое взаимодействие в динамической голографии, аналогичное дифракционной эффективности в обычной голографии, является эффективность обращения волнового фронта при четырехволновом взаимодействии: $\rho = I_{\text{обр}}/I_{\text{вх}}$.

Скорость формирования голографической решетки определяется чувствительностью η и может быть охарактеризована временем фоторефрактивного отклика $t_{\text{ФР}}$, соответствующего времени достижения глубины модуляции показателя преломления $\delta n = \delta n_{\text{max}}(1 - e^{-1})$ для плотности интенсивностей взаимодействующих пучков $I = 1 \text{ Вт/см}^2$. Предельное значение фоторефрактивного отклика в [18] оценивалось выражением

$$t'_{\text{ФР}} = \left(\frac{h\nu}{e} \right) \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right) \left(\frac{\Gamma}{\alpha} \right) \frac{2}{\pi} \frac{1}{\beta} \frac{1}{I} \left(\frac{\epsilon}{n^3 r} \right), \quad (2)$$

где Λ — период голографической решетки; ϵ — диэлектрическая проницаемость.

Исследование голографического усиления в номинально чистых кристаллах НБС 39/61 на длине волны $\lambda = 440 \text{ нм}$ показало существенную зависимость его значения от пространственной частоты записываемых

решеток [10, 20]. Максимальное значение коэффициента усиления Γ_{\max} не превосходило 4 см^{-1} . Легирование кристаллов НБС церием приводило к увеличению Γ , причем для образцов, в которых Се находится в позиции С, более чем в 2 раза по сравнению с образцами, в которых Се расположен в позиции А2 [15]. С уменьшением длины волны записи также наблюдалось увеличение Γ . Внешнее электрическое поле в значительной степени может изменять значения коэффициента усиления и позволяет достигать его максимальных значений: $\Gamma_{\max} = 25 \text{ см}^{-1}$ [19], $\Gamma_{\max} = 35 \text{ см}^{-1}$ [20]. С увеличением концентрации центров захвата возрастает максимальное поле пространственного заряда и соответственно увеличивается Γ [17, 20].

Энергообмен фазомодулированных пучков, имеющий важное значение в области телекоммуникаций, получен в виде квантового усилителя на термодиффузионном кристалле НБС.

Впервые применение энергообмена для коррекции волнового фронта при взаимодействии мощной волны накачки с искаженным волновым фронтом и слабой неискаженной волны было предложено в [24]. Использование кристаллов НБС позволило реализовать коррекцию с десятикратным усилением [25], продемонстрирована коррекция не только пространственных фазовых искажений, но и временных. Быстродействие определялось временем фоторефрактивного отклика.

Компенсация фазовых искажений может быть реализована методами обращения волнового фронта (ОВФ) при вырожденном четырехволновом взаимодействии. В [26] продемонстрирована применимость кристаллов НБС для высокоэффективного обращения волнового фронта. При исследовании характеристик ОВФ-зеркала на кристалле НБС 39/61 была достигнута эффективность обращения 30 % [27]. Влияние соотношения интенсивностей пучков накачки на эффективность ОВФ в кристаллах НБС и BaTiO_3 изучено в [28].

Обращение волнового фронта сигнальной волны при четырехволновом взаимодействии требует формирования сопряженных волн накачки, что вызывает определенные проблемы и ведет к потерям световой энергии. В значительной степени эти трудности могут быть преодолены при помещении фоторефрактивной среды в резонатор (рис. 3), в котором роль накачек выполняют волны, зарождающиеся в резонаторе в результате фотоиндуцированного рассеяния и усиления рассеянных волн вдоль оси резонатора за счет перекачки энергии от сигнальной волны.

В 1982 г. была предложена для ОВФ оптическая схема с самоорганизующимся адаптивным резонатором [29], формирующимся внутри фоторефрактивного кристалла, без каких-либо дополнительных оптических элементов, кроме прямоугольных граней самого кристалла. Волны накачки образуются из фотоиндуцированного рассеянного света, отраженного от граней кристалла, как показано на рис. 3. Эта схема самонакачивающегося обращаемого зеркала впервые реализована в кристалле BaTiO_3 с эффективностью ОВФ 30 % [29]. Максимальная эффективность ОВФ с самонакачкой достигалась в кристаллах НБС 40/60 и составляла 60 % для длины волны $\lambda = 442 \text{ нм}$ [30]. Это не предельное значение для кристаллов НБС, так как специальных исследований по оптимизации состава и геометрии кристалла не проводилось. Исследования ОВФ-зеркала с самонакачкой в кристаллах состава НБС 25/75 показали сравнительно низкую эффективность $\sim 6\%$ на длине волны $\lambda = 442 \text{ нм}$ [31]. Сравнение кристаллов НБС и BaTiO_3 [30] установило, что ОВФ в кристаллах НБС возможно в более широком диапазоне углов падения, включая нормальное падение, обладает более высоким

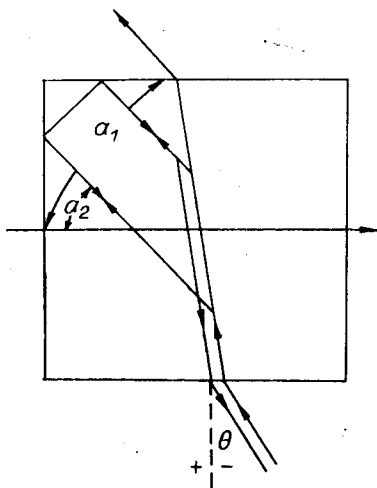


Рис. 4. Оптическая схема голографического оптического генератора

быстродействием и эффективностью ОВФ. Кроме того, НБС-кристаллы являются потенциально более гибкими для легирования, чем BaTiO_3 , благодаря «незаполненной» структуре, содержащей вакантные места, что дает возможность увеличения чувствительности в длинноволновой области ближнего ИК-диапазона введением церия в кристаллографические позиции с низким координационным числом. В работе [32] исследовались самонакачивающиеся ОВФ-зеркала в кристаллах НБС: Се, в которых церий вводился в вакантные положения с координационным числом $n_c = 9$. Эффективность ОВФ

на длине волны $\lambda = 676$ нм составляла 7 %.

Голографическое усиление в кристаллах НБС может быть с успехом использовано для создания оптических генераторов с вырожденной по частоте накачкой [33, 34]. Схема голографического оптического генератора показана на рис. 4. Генерация возникает, если усиление рассеянного вдоль оси резонатора света превышает потери. Для излучения накачки $\lambda = 488$ нм эффективность генерации составляла ~ 8 %.

Из приведенного обзора видны возможности широкого применения кристаллов ниобата бария — стронция для усиления и преобразования взаимодействующих световых волн, обращения волнового фронта, голографической записи информации, что может повлечь за собой многочисленные практические приложения. Кристаллы НБС потенциально перспективнее кристаллов титаната бария, широко применяемого за рубежом. Это основано на следующих положениях.

Кристаллы НБС плавятся конгруэнтно, поэтому они могут быть получены по методу Чохральского и Степанова больших размеров. Они имеют 180° -доменную структуру, что существенно упрощает процедуру перевода их в монокристаллическое состояние. Кристаллическая структура НБС позволяет варьировать соотношение Ba/Sr и степень легирования переходными элементами и тем самым воздействовать на диэлектрические, электрооптические и спектральные свойства. Технология кристаллов НБС освоена Институтом общей физики АН СССР.

ЛИТЕРАТУРА

1. Francombe M. H. The relation between structure and ferroelectricity in lead barium and strontium niobates // *Acta Cryst.*—1960.—V. 13.—Pt. 2.—P. 131.
2. Thaxter J. B. Electrical control of holographic storage in strontium barium niobate // *Appl. Phys. Lett.*—1969.—V. 15, N 7.—P. 210.
3. Micheron F., Bismuth G. Field and time thresholds for the electrical fixation of holograms recorded in $(\text{Sr}_{0.75}\text{Ba}_{0.25})\text{Nb}_2\text{O}_6$ crystals // *Appl. Phys. Lett.*—1973.—V. 23, N 2.—P. 71.
4. Micheron F., Mayeux C., Trotier J. C. Electrical control in photoferroelectric materials for optical storage // *Appl. Opt.*—1974.—V. 13, N 4.—P. 784.
5. Thaxter J. B., Kestigian M. Unique properties of SBN and their use in a layered optical memory // *Ibid.*—P. 913.
6. Воронов В. В., Кузьминов Ю. С., Лукина И. Г. Фоточувствительность сегнетоэлектрических кристаллов ниобата бария — стронция и ниобата бария — стронция // *ФТТ.*—1976.—Т. 18, вып. 4.
7. Megumi K., Kozuka H., Kobayashi M., Furuhashi J. High-sensitive holographic storage in Ce-doped SBN // *Appl. Phys. Lett.*—1977.—V. 30, N 12.—P. 631.
8. Волк Т. Р., Ковалевич В. И., Полозков Н. М. и др. Фотоэлектрические свойства и фоторефракция в кристаллах ниобата бария — стронция // *ФТТ.*—1979.—Т. 21, вып. 9.
9. Воронов В. В., Гуланян Э. Х., Дорош И. Р. и др. Фотоэлектрические и фоторефрактивные свойства кристаллов ниобата бария — стронция, легированных церием // *Квантовая электрон.*—1979.—Т. 6, № 9.

10. Дорош И. Р., Кузьминов Ю. С., Осико В. В., Ткаченко Н. В. Влияние концентрации Се на голографическую чувствительность кристаллов ниобата бария — стронция $(\text{Sr}_x\text{Ba}_{1-x})_{1-y}(\text{Nb}_2\text{O}_6)_y$ (НБС) // ФТТ.— 1981.— Т. 23, вып. 2.
11. Dorosh I. R., Kuzminov Yu. S., Polozkov N. M. e. a. Barium-strontium niobate crystals for optical information recording // Phys. Stat. Sol. (a).— 1981.— V. 65.— P. 513.
12. Дорош И. Р., Кузьминов Ю. С., Ткаченко Н. В. Ниобат бария — стронция, легированный церием, — голографическая регистрирующая среда // Автометрия.— 1981.— № 5.
13. Neurgaonkar R. R., Cory W. K. Process in photorefractive tungsten bronze crystals // JOSA (B).— 1986.— V. 3, N 2.— P. 274.
14. White J. O., Cronin-Golomb M., Fischer B., Yariv A. Coherent oscillation by self-induced gratings in the photorefractive crystal BaTiO_3 // Appl. Phys. Lett.— 1982.— V. 40, N 6.— P. 450.
15. Ewbank M. D., Neurgaonkar R. R., Cory W. K., Feinberg J. Photorefractive properties of strontium-barium niobate // J. Appl. Phys.— 1987.— V. 62, N 2.— P. 374.
16. Сеглиньш Я. А. Фотондупированные процессы при записи элементарных голографических решеток в фоторефрактивных сегнетоэлектриках НБС: Се и керамике: Дис. ... канд. физ.-мат. наук.— Саласпилс, 1987.
17. Винецкий В. Л., Соскин М. С., Кухтарев Н. В. и др. Голографическая запись в электрооптических кристаллах // Фундаментальные основы оптической памяти и среды.— Киев: Вища шк., 1978.— Вып. 9.
18. Yeh P. Fundamental limit of the speed of photorefractive effect and its impact on device applications and material research // Appl. Opt.— 1987.— V. 26, N 4.— P. 602.
19. Князьков А. В., Кожевников Н. М., Кузьминов Ю. С. и др. Влияние электрического поля на динамическую запись голограмм в кристалле ниобата бария — стронция, легированного церием // Письма в ЖТФ.— 1983.— Т. 9, № 7.
20. Rakuljic G. A., Yariv A., Neurgaonkar R. Photorefractive properties of undoped, cerium-doped and iron-doped single-crystal $\text{Sr}_{0,6}\text{Ba}_{0,4}\text{Nb}_2\text{O}_6$ // Opt. Eng.— 1986.— V. 25, N 11.— P. 1212.
21. Князьков А. В., Кожевников Н. М., Кузьминов Ю. С. и др. Энергообмен фазомодулированных световых пучков в динамической голографии // ЖТФ.— 1984.— Т. 54, № 9.
22. Кухтарев Н. В., Муравьев В. В., Семенец Т. И. Поляризационные характеристики самодифракции в фоторефрактивных кристаллах.— Киев, 1986.— (Препринт/АН УССР, ИФ: 19).
23. Богодаев Н. В., Кузьминов Ю. С., Кухтарев Н. В. и др. Динамическая голографическая интерферометрия в фоторефрактивных кристаллах // Кр. сообщ. по физ.— 1987.— № 3.
24. Соскин М. С., Хижняк А. И. Современное состояние голографических методов динамической коррекции лазерных пучков // Изв. АН СССР. Сер. физ.— 1980.— Т. 44, № 8.
25. Chiou A. E. T., Yeh P. Beam cleanup using photorefractive two-wave mixing // Opt. Lett.— 1985.— V. 10, N 12.— P. 621.
26. Fischer B., Cronin-Golomb M., White J. O. e. a. Amplifying continuous wave phase conjugate mirror with strontium barium niobate // Appl. Phys. Lett.— 1982.— V. 40, N 10.— P. 863.
27. Вохник О. М., Кузьминов Ю. С., Полозков Н. М. Исследование характеристик ОВФ-зеркала на фоторефрактивном кристалле ниобата бария — стронция // Квантовая электрон.— 1986.— Т. 13, № 8.
28. Kwong S.-K., Chung Y.-H., Cronin-Golomb M., Yariv A. Experimental studies of phase conjugation with depleted pumps in photorefractive media // Opt. Lett.— 1985.— V. 10, N 7.— P. 359.
29. Feinberg J. Self-pumped continuous-wave phase conjugator using internal reflection // Opt. Lett.— 1982.— V. 7, N 10.— P. 486.
30. Salamo G., Miller M. J., Clark III W. W. e. a. Strontium barium niobate as a self-pumped phase conjugator // Opt. Commun.— 1986.— V. 59, N 5, 6.— P. 417.
31. Miller M. J., Sharp E. J., Wood G. L. e. a. Time response of a cerium-doped $\text{Sr}_{0,75}\text{Ba}_{0,25}\text{Nb}_2\text{O}_6$ self-pumped phase-conjugate mirror // Opt. Lett.— 1987.— V. 12, N 5.— P. 340.
32. Montgomery S. R., Yarrison — Rice J., Pederson D. O. e. a. Self-pumped phase conjugation in the red in photorefractive $\text{Ba}_{2-x}\text{Sr}_x\text{K}_{1-y}\text{Na}_y\text{Nb}_5\text{O}_{15}$ and $\text{Sr}_x\text{Ba}_{1-x}\text{Nb}_2\text{O}_6$ with cerium in 9-fold coordinated sites // Proc. Meet. Photoref. Mat. Effects, Devic.— Los Angeles, CA, 1987.— V. FA3—1, FA3—4.— P. 171.
33. Круминь А. Э., Сеглиньш Я. А., Одулов С. Г. и др. Обнаружение генерации света с вырожденной по частоте накачкой в кристалле ниобата бария — стронция, легированного церием // Письма в ЖТФ.— 1986.— Т. 12, № 1.
34. Круминь А. Э., Кузьминов Ю. С., Одулов С. Г. и др. Оптический генератор с вырожденной по частоте накачкой на кристалле НБС: Се // Квантовая электрон.— 1986.— Т. 13, № 5.
35. Барменков Ю. О., Зосимов В. В., Кожевников Н. М. и др. Исследование малых ультразвуковых колебаний методами оптической динамической голографии // ДАН СССР.— 1986.— Т. 290, № 5.

36. Кузьминов Ю. С. Сегнетоэлектрические кристаллы для управления лазерным излучением.— М.: Наука, 1982.
37. Петров М. П., Степанов С. И., Хоменко А. Н. Фоточувствительные электрооптические среды в голографии и оптической обработке информации.— Л.: Наука,

УДК 535.376

Н. В. ГУСАК, Л. И. ЛИТИНСКАЯ

(Москва)

ЭЛЕКТРОННО-СТИМУЛИРОВАННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ОПТИЧЕСКИХ КОНСТАНТ В ТОНКИХ ПЛЕНКАХ ХАЛЬКОГЕНИДНЫХ СТЕКОЛ

В последнее время интенсивно проводятся исследования свойств халькогенидных стеклообразных полупроводников (ХСП) в связи с их широким техническим применением. Особый интерес представляют пленочные структуры ХСП, в которых возможно формирование целого ряда функциональных элементов интегральной оптики (ИО). Внешние воздействия вызывают изменения оптических, электрофизических и механических свойств ХСП, следовательно, существенно важным представляется вопрос об изучении этих изменений для обеспечения стабильности работы устройств, сформированных на базе ХСП.

Значительные изменения оптических свойств ХСП происходят при бомбардировке электронами высоких энергий. В работе [1] исследовалось изменение коэффициента оптического пропускания под воздействием быстрых электронов для массивных стекол ХСП. Авторами [2, 3] изучались электронно-стимулированные изменения спектров фотолюминесценции. Необходимо заметить, что ранее исследования проводились для массивных образцов и представленные для них результаты могут быть неприменимы для описания работы элементов устройств на основе пленочных структур.

В настоящей работе приводятся результаты исследований характера изменения оптических констант пленок ХСП бинарной системы $As-S$ — S , подвергнутых бомбардировке быстрыми электронами. Объектом исследований служили пленочные образцы следующих составов: $As_{30}S_{70}$, $As_{40}S_{60}$, $As_{44}S_{56}$. Пленки толщиной 1 мкм приготавливали методом термического напыления в вакууме на подложки из оксидного стекла, толщину которых контролировали интерференционным методом. Часть поверхности пленки подвергали облучению излучением Ag -лазера с длиной волны $\lambda = 0,51$ мкм. На образцы воздействовали моноэнергетическим пучком быстрых электронов от линейного ускорителя с энергией 4,5 МэВ, длительностью импульса 3 нс, частотой следования 400 Гц. Доза облучения набиралась поэтапно. Флюенсы (Φ) электронов изменялись в интервале $1 \cdot 10^{12} - 3 \cdot 10^{16}$ см⁻² при плотности потока $5 \cdot 10^{11}$ см⁻² · с⁻¹. При данной плотности потока существенного разогрева пленок не происходило. Исследование спектров оптического пропускания проводилось с помощью спектрально-вычислительного комплекса.

На рис. 1 приведены зависимости величин сдвигов спектров оптического пропускания для экспонированных светом и неэкспонированных участков пленок $As_{30}S_{70}$, $As_{40}S_{60}$, $As_{44}S_{56}$, а также изменения показателей преломления экспонированных участков. В результате анализа выяснилось, что наиболее значительные изменения оптических констант пленок происходят при Φ в интервале $1 \cdot 10^{13} - 1 \cdot 10^{14}$ см⁻². Дозы,