

информационных картин ($\sim 10^4$ бит), но и с большими тактовыми частотами ($\geq 10^7$ Гц). Несмотря на то что в настоящей работе требования к оптоэлектронной базе (ОУТ и ЭУТ) сформулированы при решении частной задачи, полагаем, что эти требования носят достаточно общий характер*. Поэтому усилия, необходимые для преодоления трудностей создания быстродействующих оптоэлектронных элементов, представляются оправданными.

ЛИТЕРАТУРА

1. Володин Е. Б., Свидзинский К. К. Возможность построения интегральных оптических транспарантов для оптической цифровой техники связи.— Автотметрия, 1977, № 4.
2. Белин А. М., Рябоконт В. Н., Свидзинский К. К. Интегрально-оптические транспаранты.— Электрон. пром-сть, 1978, № 7.

Поступило в редакцию 6 мая 1980 г.

УДК 535.4 : 546.32'131

Л. НИКОЛОВА, Т. ГОДОРОВ
(София, Болгария)

ГОЛОГРАФИЧЕСКАЯ ЗАПИСЬ НА ОСНОВЕ ФОТОИНДУЦИРОВАННОГО ДИХРОИЗМА В КРИСТАЛЛАХ KCl:Na

Исследования фотохромных свойств окрашенных кристаллов щелочных галоидов для осуществления объемной голографической записи проводятся давно [1]. Наиболее интересными оказались процессы фотопереориентации анизотропных центров, которые происходят при облучении линейно-поляризованным светом. Кроме высокой чувствительности и возможности многократной записи без промежуточной термической обработки, кристаллы, содержащие анизотропные центры, позволяют регистрировать также векторный характер интерференционной картины, что дает возможность сохранить в восстановленном изображении поляризацию записываемой волны. Благодаря этому запись приобретает ряд преимуществ: увеличивается информационная емкость, повышается контраст записи, уменьшается шум и т. п.

Запись на основе F_A -центров. Из всех анизотропных центров в щелочных галоидах наиболее подходящие характеристики для поляризационной записи имеет F_A -центр — F -центр в соседстве с примесным щелочным ионом радиусом, меньшим, чем у основных (рис. 1). Нарушенная симметрия этого центра приводит к появлению двух абсорбционных полос: одна, более длинноволновая, связана с оптическими переходами, поляризованными вдоль оси центра, а вторая, коротковолновая, обусловлена переходами, поляризованными перпендикулярно оси. F_A -центр может иметь три оптически различных положения в кристаллической решетке — вдоль трех направлений [100]. Под воздействием света подходящей длины волны в широких пределах изменения температуры (включая комнатную) F_A -центры переориентируются и в образце создается или меняется дихроизм. В работе [2] рассмотрена голографическая запись на основе переориентации анизотропных центров типа F_A по схеме с двумя линейно-поляризованными плоскими волнами с произвольно направленной поляризацией. Во время экспонирования кристалла такой интерференционной картиной в нем происходит переориентация анизотропных центров и индуцируется локальный дихроизм, соответствующий результирующей поляризации света. Из-за индуцированной в кристалле анизотропии его электропроводимость после регистрации является тензорной величиной. В системе кристаллофизических осей [100] тензор σ яв-

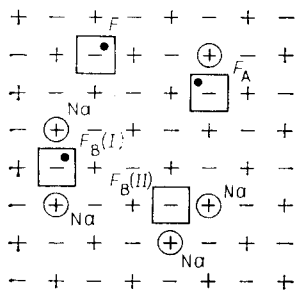


Рис. 1.

* Эта точка зрения авторов является спорной. (Прим. ред.)

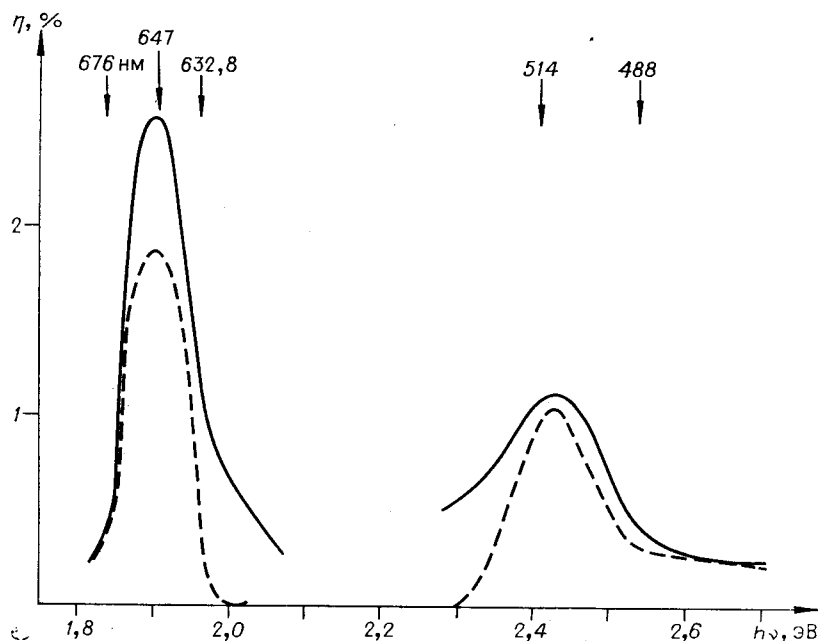


Рис. 2.

ляется диагональным:

$$\sigma = \begin{vmatrix} \sigma_x & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_y & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_z \end{vmatrix}.$$

Его собственные значения σ_x , σ_y и σ_z связаны с концентрациями F_A -центров, ориентированных вдоль трех возможных направлений. Во время записи под воздействием результирующего светового поля осуществляется пространственная модуляция σ_x , σ_y , σ_z . Так как фотопроецесс не связан с образованием или разрушением центров окраски (в отличие от обычных фоточувствительных сред), амплитудная запись осуществляется без изменения суммарной оптической плотности. Поэтому после достаточно длительного экспонирования функции $\sigma_x(r)$, $\sigma_y(r)$ и $\sigma_z(r)$ достигают стационарного значения и далее не изменяются. Они становятся периодическими функциями координат, зависящими от параметров двух записывающих волн. Для вычисления дифракционной эффективности η нами использована теория связанных волн, учитывающая тензорный характер амплитудной модуляции и реальную форму записанных решеток [2]. Численные расчеты показали, что η зависит от формы записанных решеток (геометрии записи) и параметров самого кристалла (оптической плотности и максимально достижимой амплитудной модуляции). Экспериментально полученные зависимости дифракционной эффективности от направлений поляризации записывающей и восстанавливающей волн [3] показывают хорошее совпадение с вычисленными зависимостями. Запись проводилась с помощью He-Ne-лазера, длина волны излучения которого находится почти в максимуме F_{A1} абсорбционной полосы при комнатной температуре. Максимальное значение

дифракционной эффективности, измеренное для этой длины волны, составляет $\sim 1\%$. Оно ограничено наличием фонового поглощения изотропных центров, из-за которого коэффициент амплитудной модуляции всегда меньше единицы.

С целью повышения дифракционной эффективности была проведена запись на других длинах волн в крыльях полос поглощения F_A -центров. В этом случае осуществляется амплитудно-фазовая запись, так как модуляция коэффициента поглощения сопровождается модуляцией коэффициента преломления среды [4]. На основе анализа процесса дифракции на дихроичных решетках нами вычислено значение дифракционной эффективности амплитудно-фазовой записи для различных длин волн. Для простоты предполагали, что изменение коэффициента поглощения кристалла в зависимости от частоты излучения в F_{A1} и

λ , нм	$\eta_{\text{теор}}$, %	$\eta_{\text{эксп}}$, %
488	0,40	0,10
514,5	1,08	1,00
632,8	0,93	0,64
647,6	2,58	2,40
676	0,36	0,15

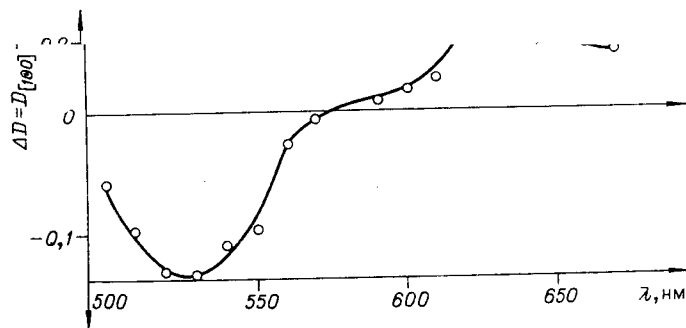


Рис. 3.

F_{A_2} абсорбционных полосах и соответствующие изменения в показателе преломления описываются формулами простого классического осциллятора:

$$\alpha_{\omega} = \alpha_{\max} / [4((\omega_{\max} - \omega)^2 / H^2) + 1],$$

$$\delta n = [(\omega_{\max} - \omega) / H] \alpha_{\omega} (\lambda / 2\pi),$$

где α_{\max} — максимальная величина поглощения в абсорбционной полосе, ω_{\max} — соответствующая частота, H — полуширина полосы. При вычислениях учитывалась и зависимость глубины модуляции от длины волны (из-за неодинакового фонового поглощения модуляция сильнее в F_{A_1} -полосе и слабее в F_{A_2} -полосе, которая в значительной степени перекрывает абсорбционную полосу изотропных F -центров). На рис. 2 представлена вычисленная зависимость $\eta(\lambda)$. Штриховой линией показан фазовый вклад в дифракционную эффективность. Эта зависимость получена также экспериментальным путем. При этом применялись кристаллы KCl, содержащие ~0,1% NaCl. Измеренные значения дифракционной эффективности для пяти различных длин волн при условиях записи, для которых проведен теоретический расчет, даны в таблице (угол записи $\Theta = 25^\circ$, $D_{630} = 1,5$, направления поляризации обеих записываемых волн вдоль $[110]$ и $[\bar{1}\bar{1}0]$). Максимальная дифракционная эффективность (~2,5%) получена при использовании K⁺-лазерной линии для $\lambda = 647,6$ нм. Экспериментальные результаты показывают хорошее качественное совпадение с расчетными значениями для тех же длин волн и подтверждают вывод о том, что наиболее благоприятно для записи излучение из длинноволнового крыла F_{A_1} -полосы.

Запись на основе F_B -центров. Существенным недостатком фотодихроичной голографической записи является ее быстрое старение при комнатной температуре. Во время экспонирования лазерным светом вместе с фотопереориентацией F_A -центров происходят, хотя и медленнее, агрегационные процессы ($F_A - M_A$ и другие), которые приводят к исчерпыванию F_A -центров в кристалле и уменьшению возможной амплитудной модуляции. Эксперименты показали, что подобное ухудшение голографической записи можно существенно замедлить введением большого количества Na⁺ примесей в кристалл.

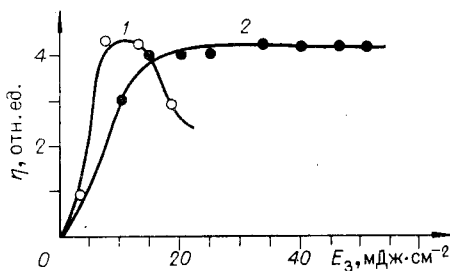


Рис. 4.

В кристаллах с концентрацией NaCl ~ ~0,5 мол. %, кроме F_A -центров, образуются и F_B -центры. Соответствующими термической и оптической обработками их количество можно сделать преобладающим. F_B -центр — это F -центр в соседстве с двумя примесными ионами. В зависимости от взаимного расположения обоих примесных ионов бывают F_B -центры I или II типа (см. рис. 1). Оба типа F_B -центров оптически анизотропны. Облучение линейно-поляризованным светом при комнатной температуре вызывает локальную миграцию

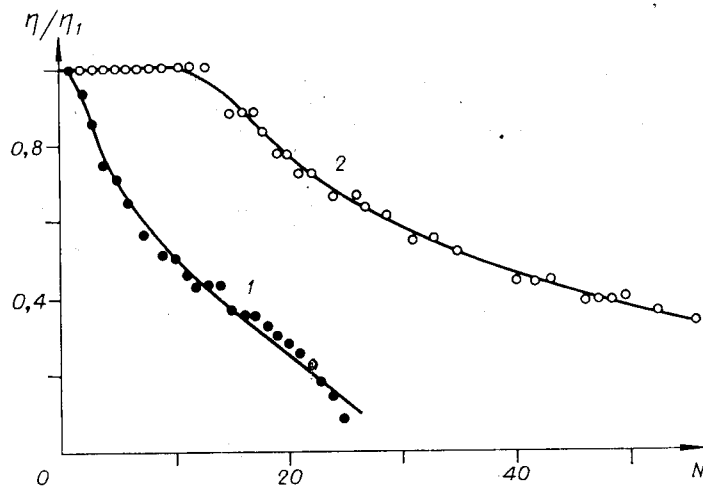


Рис. 5.

F -центров около примесных ионов до положения, соответствующего минимальному поглощению. Таким образом в кристалле индуцируется дихроизм. На рис. 3 (кривая 2) показана длинноволновая часть спектра дихроизма кристалла, содержащего F_B -центры. Значительно большая, чем у кристаллов, имеющих F_A -центры (кривая 1), ширина спектра вызвана $F_B(I)$ -центрами, максимум длинноволновой полосы поглощения которых при комнатной температуре находится в области 660 нм.

Процесс индуцирования дихроизма в кристаллах с F_B -центрами аналогичен переориентации F_A -центров. На его основе также осуществлена голографическая запись, для которой использовались кристаллы KCl с $\sim 0,5$ мол. % Na^+ , аддитивно окрашенные до 10^{17} см $^{-3}$. Большая часть F -центров преобразовалась в F_B -центры. В кристаллах, подготовленных таким образом, излучением He-Ne-лазера записывались голограммы по схеме с двумя плоскими волнами, линейно-поляризованными вдоль $[110]$ и $[\bar{1}\bar{1}0]$. Голографические характеристики этой записи аналогичны характеристикам записи на основе F_A -переориентации. Зависимость дифракционной эффективности от энергии записи показана на рис. 4 (кривая 2). Здесь же для сравнения дана та же зависимость для кристалла, содержащего F_A -центры (кривая 1). Видно, что чувствительность записи, основанной на фотодихроизме F_B -центров, несколько ниже. Это обусловлено неодинаковой скоростью кинетик индуцирования дихроизма в этих двух случаях. Большая стабильность F_B -центров обуславливает наблюдаемое насыщение дифракционной эффективности, специфичное для фотодихроичных материалов. Наличие насыщения величины дифракционной эффективности соответствует установлению стационарной формы распределения анизотропных центров по ориентациям. Так как во время голографической записи в кристаллах, содержащих F_A -центры, протекают также процессы, ведущие к уменьшению их концентрации, то у кривой 1 отсутствует такая область насыщения. Из-за замедления агрегационных процессов кристаллы, имеющие F_B -центры, стареют медленнее при многократной записи. На рис. 5 показано уменьшение дифракционной эффективности в зависимости от числа циклов «запись — стирание» для случаев F_A - (кривая 1) и F_B -центров (кривая 2).

Результаты исследования поляризационной голографической записи на основе фотоиндуцированной переориентации F_A - и F_B -центров показывают, что их можно применять при комнатной температуре в тех случаях, когда достаточно малое число циклов перезаписи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шварц К. К., Готлиб В. И., Кристаксон Я. Ж. Оптические регистрирующие среды. Рига, 1976.
2. Nikolova L., Todorov T.— *Optica Acta*, 1977, vol. 24, p. 1179.
3. Nikolova L., Todorov T., Stefanova P.— *Opt. Comm.*, 1977, vol. 24, p. 44.
4. Scriviner G. E., Tubbs M. R.— *Opt. Comm.*, 1974, vol. 10, p. 32.

Поступило в редакцию 13 июля 1980 г.