

Рассмотренная модель возникновения дихроизма качественно объясняет экспериментальные результаты. Исключением является кривая, полученная при воздействии на ФХС излучением с  $\lambda=0,63$  мк, где дихроизм меняет знак и слева, и справа от линии облучения. Аномальность спектров дихроизма при возбуждении  $\lambda=0,63$  мк, по-видимому, связана с кинетикой разрушения  $K$ -центров. Выше всегда предполагалось, что резонансно-поглощающие частицы просто изымаются из изотропного набора. В действительности, это процесс непрерывный и может сопровождаться изменением конфигурации частиц. Детальный анализ расщепления спектров показывает, что при условии увеличения эксцентриситета разрушаемых частиц дихроизм изменит знак в длинноволновой области спектра. Физически это соответствует либо разрушению эллипсоида преимущественно со сжатых сторон, либо перестройке частицы вдоль вектора поля.

Полученные в экспериментах результаты позволяют сделать следующие выводы:

1. Эффект Вейгерта наблюдается при воздействии на ФХС линейно-поляризованным светом любой длины из видимого диапазона.

2. Эффект Вейгерта в ФХС может быть объяснен селективным разрушением  $K$ -центров определенной формы и ориентации. При облучении коротковолновым светом процессы селективного разрушения и роста частиц происходят одновременно. В результате перестройки динамически равновесная система не содержит резонансно-поглощающих  $K$ -центров определенной формы.

Кинетика возникновения анизотропии, зависимость ее величины от состава стекол и параметров облучения исследуются в настоящее время.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. F. Weigert. Über die spezifische Wirkung der polarisierten Strahlung.—“Ann. der Phys.”, 1920, Bd 63, S. 681.
2. И. В. Туниманова. Исследование фотохромных стекол на основе галогенидов серебра с целью использования их в запоминающих устройствах.— Автореф. дис. на соиск. уч. степени канд. хим. наук. Л., 1973 (ГОИ).
3. С. В. Чердынцев. Оптические и фотохимические свойства коллоидных центров в кристаллах галогидосеребряных солей.— «Журн. физ. химии», 1941, т. 15, с. 419.

*Поступила в редакцию 23 ноября 1975 г.*

УДК 535.5

**В. Г. ЖДАНОВ**

(Новосибирск)

### **АНИЗОТРОПНАЯ ЗАПИСЬ ОПТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ В ФОТОХРОМНЫХ СТЕКЛАХ (ФХС)**

1. В работе [1] показано, что при облучении ФХС на основе галогенидов серебра линейно-поляризованным светом из всего видимого диапазона возникает линейный дихроизм и линейное двулучепреломление, т. е. первоначально изотропное фотохромное стекло приобретает свойства одноосного поглощающего кристалла. Анизотропные свойства

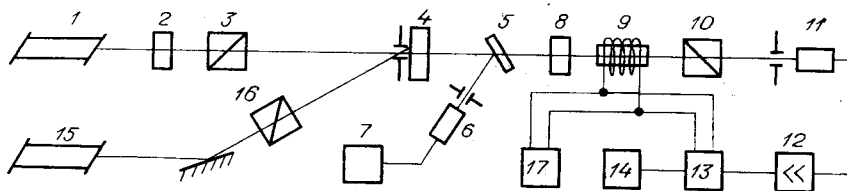


Рис. 1. Схема экспериментальной установки.

ФХС связаны с анизотропией мелкодисперсных коллоидных частиц серебра (*K*-центров).

Спектральные кривые дихроизма, представленные в работе [1], соответствуют экспозициям насыщения, и следует отметить, что положение нулей и максимумов на спектральных кривых дихроизма не строго определенное: в процессе анизотропной записи они смещаются. Это связано с довольно сложными процессами разрушения и перестройки *K*-центров определенных форм и ориентаций.

Цель данной работы — количественное исследование фотонаведенной анизотропии в ФХС и оценка возможности использования данного эффекта в системах обработки оптической информации.

2. Измерения проводились на лазерном эллипсомере специальной конструкции (рис. 1). Луч He-Ne лазера 1 ослабляется фильтром 2, проходит поляризатор (призма Глана) 3, образец ФХС 4, при этом часть света отражается стеклянной плоскопараллельной пластинкой 5 и попадает на ФЭУ 6, сигнал с которого, пропорциональный пропусканию, записывается самописцем 7; оставшаяся часть света при измерении линейного двулучепреломления проходит четвертьволновой компенсатор 8 (при измерении линейного дихроизма компенсатор выводится из схемы), модулятор Фарадея ( $\omega = 437$  Гц) 9, анализатор (призма Глана) 10 и попадает на ФЭУ 11. Сигнал с ФЭУ усиливается селективным усилителем 12, детектируется синхронным детектором 13 и записывается самописцем 14. Возбуждение анизотропии производится Ag или He-Ne лазером 15, при этом плоскость поляризации (призма Глана) 16 выставляется под углом  $45^\circ$  к плоскости поляризации считывающего луча. Возбуждение модулятора Фарадея осуществляется звуковым генератором 17.

ФХС с наведенной анизотропией характеризуются комплексными показателями преломления вдоль поляризации возбуждающего излучения  $n_{\parallel} + ik_{\parallel}$  и перпендикулярно ей  $n_{\perp} + ik_{\perp}$ .

Появление линейного дихроизма приводит к повороту плоскости поляризации считывающего луча на угол  $\varphi \approx (\kappa_{\perp} - \kappa_{\parallel}) \pi h / \lambda$  (в приближении малых углов), где  $h$  — толщина образца,  $\lambda$  — длина волны считывания. Оптические плотности образца  $D_{\perp} = \kappa_{\perp} (4\pi h / \lambda)$ ,  $D_{\parallel} = \kappa_{\parallel} (4\pi h / \lambda)$ , а дихроизм  $d = D_{\perp} - D_{\parallel} = (\kappa_{\perp} - \kappa_{\parallel}) 4\pi h / \lambda \approx 4\varphi$ .

Из-за наведенного двулучепреломления свет становится эллиптически-поляризованным с эллиптичностью  $\varepsilon$ . Четвертьволновая пластинка, ориентированная вдоль оси эллипса поляризации, восстанавливает линейную поляризацию, при этом азимут ее поворачивается на угол  $\varphi \approx \varepsilon$  (подробнее в работе [2]),  $\varepsilon \approx (n_{\perp} - n_{\parallel}) \pi h / \lambda$  в приближении малых углов.

Применение модулятора Фарадея и синхронного детектирования позволило в реальном времени получить чувствительность установки к наведенному двулучепреломлению и дихроизму:

$$|(n_{\perp} - n_{\parallel})| h \approx 10^{-10} \text{ см};$$

$$|(\kappa_{\perp} - \kappa_{\parallel})| h \approx 10^{-10} \text{ см}.$$

В ходе эксперимента самописец 7 регистрирует сигнал, пропорциональный пропусканию образца  $I_t$ , а сигнал на самописце 14 равен произведению  $I_t \varphi$ .

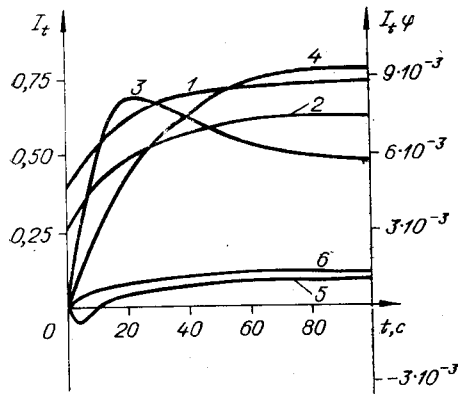


Рис. 2. Кривые пропускания (1, 2), дихроизма (3, 4) и двулучепреломления (5, 6) при обесцвечивании образцов № 1 (1, 3, 5) и № 2 (2, 4, 6).

обесцвечиванием, вследствие чего концентрация  $K$ -центров, ответственных за дихроизм, падает. Смена знака двулучепреломления для образца № 1 связана, по-видимому, с особенностью спектрального поведения двулучепреломления — нуль двулучепреломления в процессе обесцвечивания может проходить линию считывания. Следует также отметить высокую дихроичность ФХС при обесцвечивании. Отношение  $(\chi_{\perp} - \chi_{\parallel}) / \bar{\chi} = 0,2$ , где  $\bar{\chi}$  получена из закона Бугера  $I_t = (I_0 - I_R) \exp[-\bar{\chi}(4\pi h/\lambda)]$ ,  $I_0 = 1$ ,  $I_R$  — отраженный свет.

Ответственность  $K$ -центров за анизотропные эффекты подчеркивает тот факт, что анизотропия не возникала при возбуждении красным светом на термически обесцвеченных образцах и соответственно пропала при термическом обесцвечивании.

На рис. 3 показаны кинетика потемнения ФХС при облучении Ag лазером ( $\lambda = 0,51$  мкм), кинетика дихроизма и двулучепреломления. Длина волны считывания  $\lambda = 0,63$  мкм. Чувствительность образца № 2 к зеленому свету выше, чем образца № 1, поэтому поверхностная плотность мощности для образца № 1 составляла  $0,35$  Вт/см<sup>2</sup>, для образца № 2 —  $0,12$  Вт/см<sup>2</sup>.

При облучении образца № 2 наблюдается эффект обращения дихроизма, который обусловлен движением нуля дихроизма на спектральной кривой из длинноволновой области в коротковолновую с пересечением длины волны считывания.

Для обоих образцов получены высокие значения двулучепреломления, что связано с довольно резким изменением дихроизма вблизи длины волны считывания.

ФХС являются обратимой регистрирующей средой, т.е. в них возможны многократные запись и стирание оптической информации. В ФХС была также осуществлена многократная перезапись анизотропии. Соответствующая кривая перезаписи дихроизма для

3. Запись анизотропии проводилась на ФХС, легированных CdO (образец № 1) и P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (образец № 2) с различными временами темновой релаксации [3]. Толщина образцов  $\approx 1$  мм, что обеспечивало достаточно однородное затемнение и обесцвечивание.

На рис. 2 показаны кинетика обесцвечивания He-Ne лазером затемненных светом ртутной лампы ФХС, кинетика дихроизма и двулучепреломления. Поверхностная плотность мощности  $\approx 0,2$  Вт/см<sup>2</sup>, чувствительность к обесцвечиванию у обоих образцов примерно равна.

Наличие максимума на кривой дихроизма для образца № 1 связано с его очень сильным общим

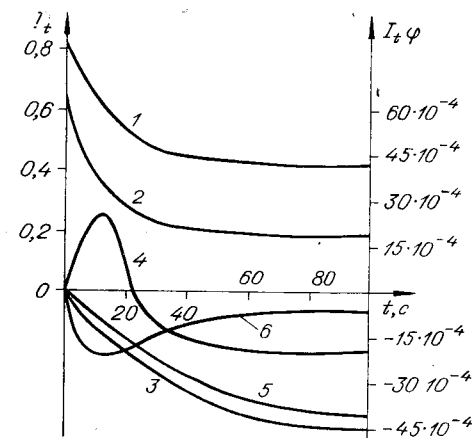


Рис. 3. Кривые пропускания (1, 2), дихроизма (3, 4) и двулучепреломления (5, 6) при потемнении образцов № 1 (1, 3, 5), № 2 (2, 4, 6).

образца № 2 представлена на рис. 4. Первоначально плоскость поляризации возбуждающего лазера устанавливалась под углом  $+45^\circ$  к поляризации считывающего лазера, затем под углом  $-45^\circ$ , и т. д.

Анализ кинетики перезаписи дихроизма позволяет сделать следующие выводы:

а) Энергоемкость разрушения анизотропии примерно на порядок меньше, чем энергоемкость наведения анизотропии. Это, по-видимому, связано с тем, что при наведении анизотропии преимущественно разрушаются  $K$ -центры, вытянутые вдоль поляризации обесцвечивающего излучения, при этом получается избыток  $K$ -центров, вытянутых в перпендикулярном направлении. При повороте плоскости поляризации обесцвечивающего луча на  $90^\circ$  в начальный момент велико сечение взаимодействия этих вытянутых  $K$ -центров с полем обесцвечивания.

б) Первоначальная преимущественная ориентация определенного сорта  $K$ -центров перпендикулярно полю первоначального обесцвечивания приводит к тому, что величина дихроизма при многократной перезаписи уменьшается, но всегда больше (при равных энергиях облучения) в направлении первоначальной записи.

в) На образце № 1 дихроизм при многократной перезаписи стремится к нулю, что соответствует полному разрушению  $K$ -центров определенной формы.

4. Абсолютные и относительные величины фотонаведенной анизотропии в ФХС велики, что обуславливает возможность применения данного эффекта в системах обработки оптической информации.

Участок ФХС, подвергнутый воздействию линейно-поляризованного света, обладает всеми свойствами одноосного линейного двулучепреломляющего и дихроичного кристалла.

Если поляризация считывающего луча расположена под углом  $45^\circ$  к наведенной оси в ФХС, то после прохождения света через записанный участок она повернется на угол  $\varphi \approx (\kappa_{\perp} - \kappa_{\parallel}) \pi h / \lambda$  и свет станет эллиптически-поляризованным с эллиптичностью  $\epsilon \approx (n_{\perp} - n_{\parallel}) \pi h / \lambda$ .

В поляризационной схеме считывания с четвертьволновым компенсатором [2] это приведет к появлению сигнала  $I_s \approx I_i (\varphi^2 + \epsilon^2)$ . При этом основной фон будет темным.

Запись изображений производится в следующем порядке. Все фотохромное стекло предварительно обесцвечивается линейно-поляризованным светом, при этом возникает анизотропная ось с азимутом  $P_1$  (рис. 5). Плоскость поляризации излучения поворачивается на  $90^\circ$ , и записывается изображение. Азимут поляризации считывающего излучения  $P_0$  устанавливается под углом  $45^\circ$  к  $P_1$ . Анализатор выставляется под углом  $P_0 + 90^\circ - \varphi$ . Интенсивность сигнала в записанном изображении при считывании  $I_s \approx I_i \sin^2 2\varphi$ . Поворот анализатора на угол  $P_0 + 90^\circ + \varphi$  инвертирует изображение. Промежуточное положение анализатора приведет к появлению в сложном изображении темных полос, соответствующих равным экспозициям.

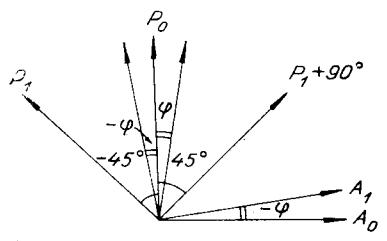


Рис. 5. Ориентация поляризационных элементов при записи анизотропии и считывании.

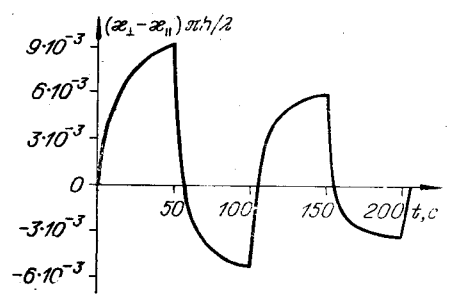


Рис. 4. Перезапись дихроизма при обесцвечивании образца № 2.

Интересными представляются эффекты обращения дихроизма и двулучепре-

ломления, которые позволяют, например, производить оконтуривание изображений.

Векторная запись информации позволяет также сохранить информацию не только об интенсивности света в изображении, но и об его поляризации.

Анализ дифракции света на решетке, образованной периодическим изменением направления дихроичной и двулучепреломляющей осей, показывает (в приближении малых углов) [4]\*, что дифракционная эффективность  $\eta \approx I_t(\varphi^2 + \epsilon^2)/4$ . Для образцов № 1 и № 2 эта величина составляет примерно  $5 \cdot 10^{-5}$ , при этом плоскости поляризации нулевого и первого порядка ортогональны. Следует отметить, что соответствующим выбором оптимальной толщины и экспозиции достигнуты результаты, заслуживающие благодарности В. К. Малиновскому за полезные дискуссии.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. А. А. Аникин, В. Г. Жданов, В. К. Малиновский, И. В. Туниманова, В. А. Цехомский. Эффект Вейгерта в фотохромных стеклах.— «Автометрия», 1976, № 4, с. 88—90.
2. В. Г. Жданов, В. К. Малиновский. Измерение магнитооптических свойств и считывание информации, записанной на тонкие магнитные пленки.— «Автометрия», 1976, № 4, с. 102—106.
3. И. В. Туниманова. Исследование фотохромных стекол на основе галогенидов серебра с целью использования их в запоминающих устройствах.— Автореф. дис. на соиск. учен. канд. хим. наук. Л., 1973. (ГОИ).
4. R. S. Mezrich. Reconstruction effects in magnetic holography.— "IEEE Trans. on Magn.", 1970, vol. Mag-6, № 3, p. 537.

*Поступила в редакцию 27 февраля 1976 г.*

УДК 772.293 : 77.023.41

**В. М. АНДРЕЕВ, В. И. ГОРУНОВ, В. И. ЕРОШКИН,  
Л. Н. КОСЕНКО, А. М. МАККАЕВ, О. П. СТУПАЧЕНКО, Е. П. ФОКИН**  
(Новосибирск)

### **О НЕКОТОРЫХ ОСОБЕННОСТЯХ ФОТОГРАФИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФИЗИЧЕСКОГО ПРОЯВЛЕНИЯ КАК СПОСОБА ЗАПИСИ ИНФОРМАЦИИ**

В последнее время все более широкое распространение получают способы записи информации с использованием фотографического процесса, который основан на физическом проявлении центров скрытого изображения (PD-процессы). PD-процессы состоят из двух основных стадий: формирования центров скрытого изображения (ЦСИ), пред-

\* В [4] — в случае магнитооптического считывания голограмм.