

висящему от тока и начальной массы (L' — погонная индуктивность электродов). При наличии сопротивления среды $v_{lim} < v_a$ и равно [4]

$$v_{lim} = \frac{2v_a}{1 + \sqrt{1 + \left(\frac{2v_a}{v_s}\right)^2}} = v_s \left(\sqrt{1 + \left(\frac{v_s}{2v_a}\right)^2} - \frac{v_s}{2v_a} \right), \quad v_s = i \sqrt{\frac{L'}{c_x \varepsilon^0 A}}, \quad (4)$$

где v_s — предел скоростей, налагаемых сопротивлением среды плотностью ρ в отсутствие абляции (c_x и A — коэффициент сопротивления и площадь сечения канала). Из [4] следует, что значение α определяет численную оценку предельно достижимой скорости.

Суммируем полученные результаты. При абляции зависимость изменения ускоряемой массы имеет вид $dm/dt = \alpha i^2$, где параметр абляции α убывает с ростом тока и слабо зависит от массы плазмы. При токах 100—500 кА значение α находится в диапазоне 1.5—0.3×10⁻¹¹ кг/А²·с и при $i \geq 300$ кА может быть принято равным 4×10⁻¹² кг/А²·с. Для зависимости $dm/dt = ki$ величина $k = \alpha i$, определяющая изменение массы плазменного поршня, составляет около 2.0 мг/Кл. Полное тепловое разрушение электродов характеризуется коэффициентом эрозии порядка 100—200 мг/Кл. При $m \gg m(0)$ скорость движения ограничена пределом, явно не зависящим от массы, а при отсутствии сопротивления среды также и от тока.

Литература

- [1] Хижняк Н. А., Сафронов Б. Г., Верещагин В. Л. // ЖТФ. 1968. Т. 38. Вып. 1. С. 40—47.
 [2] Сафронов В. И. Автореф. канд. дис. М., 1987. 16 с.
 [3] Кондратенко М. М., Лебедев Е. Ф., Остапьев В. Е. и др. // ТВТ. 1988. Т. 26. № 1. С. 159—164.
 [4] Дьяков Б. Б., Резников Б. И. // ЖТФ. 1988. Т. 58. Вып. 1. С. 136—143.
 [5] Дьяков Б. Б., Резников Б. И. // ТВТ. 1987. Т. 25. № 1. С. 142—150.

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

Поступило в Редакцию
19 мая 1988 г.

ПОДАВЛЕНИЕ ДИФфуЗИОННОЙ ТЕРМОДЕСТРУКЦИИ ГОЛОГРАММ НА РЕОКСАНЕ

А. В. Вениаминов, Н. С. Шелезов, А. О. Ребезов, Е. И. Акимова,
А. П. Попов, В. Б. Кабанов

Реоксан — объемная фазовая регистрирующая среда, представляющая собой раствор замещенного антрацена и красителя-сенсibilизатора в твердом прозрачном полимере, обычно в полиметилметакрилате (ПММА). Запись голограмм на этом материале обусловлена изменением показателя преломления при сенсibilизированном фотоокислении антрацена, спектральная область чувствительности среды охватывает весь видимый диапазон [1, 2].

Использование реоксана для создания голографических оптических элементов [3] и систем оптической памяти [4] предъявляет жесткие требования к стабильности зарегистрированных голограмм, в первую очередь к их дифракционной эффективности. Ее изменение после записи голограммы может происходить в результате различных по своей природе процессов: 1) темновой химической трансформации молекул антрацена и его фотооксида с образованием продуктов, отличающихся от исходных спектрами поглощения и, следовательно, мольной рефракцией; 2) диффузионного перемешивания молекул, находящихся в узлах и пучностях зарегистрированной интерференционной картины, которое приводит к уменьшению амплитуды модуляции показателя преломления (n_1); 3) неоднородной деформации материала под влиянием находящегося в нем при записи кислорода [5], а также в результате изменения влажности. Влияние последнего фактора на стабильность пропускающих голограмм, записанных в симметричной схеме, несущественно, а вклад первых двух в изменение n_1 синусоидальных решеток может быть описан выражением [6]

$$n_1(t) = (a + b \exp(-kt)) \exp\left(-\frac{4\pi^2 D t}{\Lambda^2}\right), \quad (1)$$

где k — константа скорости химической реакции, D — коэффициент диффузии, Δ — пространственный период решетки.

Оценочные расчеты, проведенные исходя из спектров поглощения продуктов темновых химических трансформаций антрацена и его фотооксида, показывают, что b/a не превышает 0.7. В то же время, как следует из (1), диффузионные процессы могут привести к полной деградации голограммы. Скорость этого процесса возрастает с уменьшением Δ . Поэтому цель настоящей работы — исследование скорости диффузионной деградации голограмм и поиск возможности ее подавления.

Коэффициент диффузии может быть определен из экспериментальных кинетик дифракционной эффективности голограмм с различными пространственными периодами

$$D = \frac{1}{4\pi^2} \left(\Lambda_2^2 \left(\frac{\partial \ln n_1}{\partial t} \right)_{\Lambda_2} - \Lambda_1^2 \left(\frac{\partial \ln n_1}{\partial t} \right)_{\Lambda_1} \right).$$

В наших экспериментах исследовалась стабильность голограмм с пространственными частотами 270 и 2200 мм^{-1} ($\Lambda_1 = 3.7$ $\mu\text{м}$, $\Lambda_2 = 0.45$ $\mu\text{м}$), записанных в попутных пучках в сим-

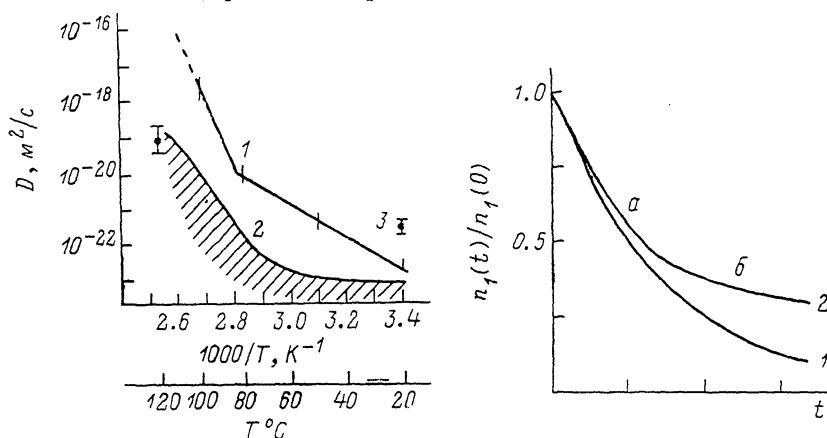


Рис. 1. Коэффициент диффузии D в реосане при различных температурах.

1 — блочный реосан, содержащий низкомолекулярный (не присоединенный к полимеру) антрацен; 2 — реосан с антраценом, химически связанным с полимером, полученный методом полива пленки; 3 — илеченный реосан с низкомолекулярным антраценом.

Рис. 2. Кинетика уменьшения амплитуды модуляции показателя преломления в голограмме с пространственной частотой 2200 мм^{-1} при 80 $^{\circ}\text{C}$.

1 — блочный реосан с низкомолекулярным антраценом; 2 — блочный реосан с антраценом, присоединенным до полимеризации к макромолекуле; а — быстрый участок, обусловленный диффузией антрацена, оторвавшегося от макромолекулы при полимеризации; б — медленный участок.

метричной схеме. В результате установлено, что для стандартных блочных образцов реосана D экспоненциально растет при уменьшении обратной температуры (рис. 1, кривая 1), причем в этой зависимости наблюдается излом около 80 $^{\circ}\text{C}$. Такая особенность, видимо, связана с увеличением подвижности макромолекул полимерной матрицы при приближении к температуре стеклования. Отметим, что и при более низких температурах диффузия приводит к деградации голограмм за конечное время. Так, n_1 решетки с пространственной частотой 2000 мм^{-1} уменьшится за счет диффузии в e раз за 7 лет при 20 $^{\circ}\text{C}$ и за 47 суток при 60 $^{\circ}\text{C}$.

Радикальный путь замедления диффузии в полимере — присоединение диффузанта к макромолекуле (для ориентировочной оценки коэффициента диффузии макромолекулы в твердом полимере могут служить полученные из измерения вязкости данные для полистирола 10^{-31} $\text{м}^2/\text{с}$ при 20 $^{\circ}\text{C}$ [7], что на 8—9 порядков меньше D антрацена и его фотооксида в реосане $(3 \pm 1) \cdot 10^{-23}$ $\text{м}^2/\text{с}$ [6]).

Мы предприняли попытку замены низкомолекулярного антрацена в стандартном полимере реосан на заранее синтезированный антраценсодержащий полимер (т. е. полимер с химически присоединенными группами антраценовой структуры [8, 9]). Однако исследование стабильности голограмм, записанных на полученных таким образом образцах, показало, что вначале n_1 уменьшается практически с той же скоростью, что и на стандартных образцах (рис. 2, участок а кривой 2). Затем происходит заметное изменение скорости деградации голограммы (участок б кривой 2). По-видимому, сложная кинетика деструкции свя-

зана с тем, что в процессе термической полимеризации (обычный способ изготовления реоксана) происходит отрыв от полимера части антраценовых групп (около половины от общего количества), которая и обуславливает начальную стадию деградации голограммы. Некоторое повышение стабильности решетки при больших временах вызвано отсутствием подвижности ковалентно присоединенного антрацена, сохранившегося в процессе полимеризации.

С целью повышения сохраняемости ковалентно присоединенного антрацена в образцах реоксана при их синтезе использован путь долива светочувствительного слоя из раствора, содержащего полимер-пленкообразователь с химически присоединенными антраценовыми группами и краситель-сенсibilизатор. Испытание изготовленных таким образом образцов показало, что диффузионная термодеструкция голограмм при температурах ниже 60—80 °С практически полностью отсутствует. Коэффициенты диффузии не превышают погрешности измерений, показанной на рис. 1 заштрихованной областью 2. Достоверно отличное от нуля значение D получено лишь при 120 °С, что существенно выше возможных температур эксплуатации полимерных голографических элементов. Диффузия при 120 °С (это выше температуры стеклования ПММА) может быть объяснена как сегментальным движением макромолекул с присоединенными к ним антраценовыми группами, так и отрывом этих групп под воздействием высокой температуры (подобно тому, что происходит в блочном материале при полимеризации). В качестве примера отметим, что время уменьшения n_1 в e раз вследствие диффузии составит не менее 5 лет для голограммы с пространственной частотой 2000 мм⁻¹ (при температуре 60 °С).

Изготовление реоксана методом полива пленок перспективно для получения образцов толщиной в десятки—сотни микрометров. Заметим, что D в пленке, содержащей низкомолекулярный антрацен, на порядок выше, чем в блочном материале ($(5 \pm 1) \cdot 10^{-22}$ м²/с, точка 3 на рис. 1) и проблема стабилизации голограмм наиболее остра для пленочного реоксана.

Таким образом, реализация принципа ковалентного присоединения антраценовых структур к макромолекулам позволяет практически полностью подавить диффузионную термодеструкцию голограмм на реоксанах. В то же время при изготовлении материала методом термической полимеризации следует иметь в виду возможность отрыва части антраценовых структур от полимерных цепей.

Авторы глубоко признательны В. И. Суханову за плодотворное обсуждение результатов работы.

Литература

- [1] Лашков Г. И., Суханов В. И. // Опт. и спектр. 1978. Т. 44. Вып. 5. С. 1008—1015.
- [2] Лашков Г. И. // Несеребряные фотографические процессы / Под ред. А. А. Картужанского. Л., 1984. С. 130—146.
- [3] Суханов В. И., Ащеулов Ю. В., Петников А. Е. // Письма в ЖТФ. 1984. Т. 10. Вып. 15. С. 925—928.
- [4] Сандер Е. А., Суханов В. И., Шойдин С. А. // Оптическая голография / Под ред. Ю. Н. Денисюка. Л., 1983. С. 77—89.
- [5] Ащеулов Ю. В., Петников А. Е., Суханов В. И. // Письма в ЖТФ. 1985. Т. 11. Вып. 19. С. 1175—1177.
- [6] Вениаминов А. В., Лашков Г. И., Ратнер О. Б. и др. // Опт. и спектр. 1986. Т. 60. Вып. 1. С. 142—147.
- [7] Бреслер С. Е., Казбеков Э. Н., Фомичев В. Н. и др. // ФТТ. 1963. Т. 5. Вып. 2. С. 675—682.
- [8] Шелехов Н. С., Краковяк М. Г., Клеин С. И. // Высокомолекуляр. соединения. 1977. Т. 19А. № 7. С. 1586—1592.
- [9] Лашков Г. И., Козел С. П., Шацева Л. С., Шелехов Н. С. // Опт. и спектр. 1981. Т. 50. Вып. 5. С. 883—887.

Поступило в Редакцию
9 июня 1987 г.