

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ КОМПЬЮТЕРНОЙ ОПТИКИ

В. С. Соловьев

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ СЛОЯ ЖФПК ВО ВРЕМЯ РЕЛЬЕФООБРАЗОВАНИЯ

ВВЕДЕНИЕ

В работах [1-3] сообщается о новом способе формирования фазового микрорельефа и возможности его использования для изготовления элементов компьютерной оптики. В связи с тем, что механизмы формирования микрорельефа в жидкой фотополимеризующейся системе не совсем понятны, была проведена серия экспериментов по выяснению особенностей поведения системы жидкой фотополимеризующейся композиции (ЖФПК) в динамическом режиме образования микрорельефа, при периодически-модулированных экспонирующих световых полях, соответствующих зонированным элементам компьютерной оптики.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

Исследовалась однокомпонентная система, состоящая из олигомера полиэфиракрилата и изобутилового эфира бензоина в качестве фотоинициатора. Двухкомпонентная система составлялась добавлением к однокомпонентной системе мономера полиэфиракрилата.

Ставилась задача проконтролировать величину зазора между двумя плоскостями, образующими слой жидкой фотополимеризующейся композиции в процессе рельефообразования.

Для проведения эксперимента собирался сэндвич, который помещали в интерферометр, как показано на рис. 1. В данной экспериментальной установке принимались меры для устранения температурных эффектов, возникающих при экспонировании УФ светом.

Рассмотрим схему интерферометра. Луч лазера 12, отражаясь от полупрозрачного зеркала 10, образует опорный луч I. Далее, пройдя

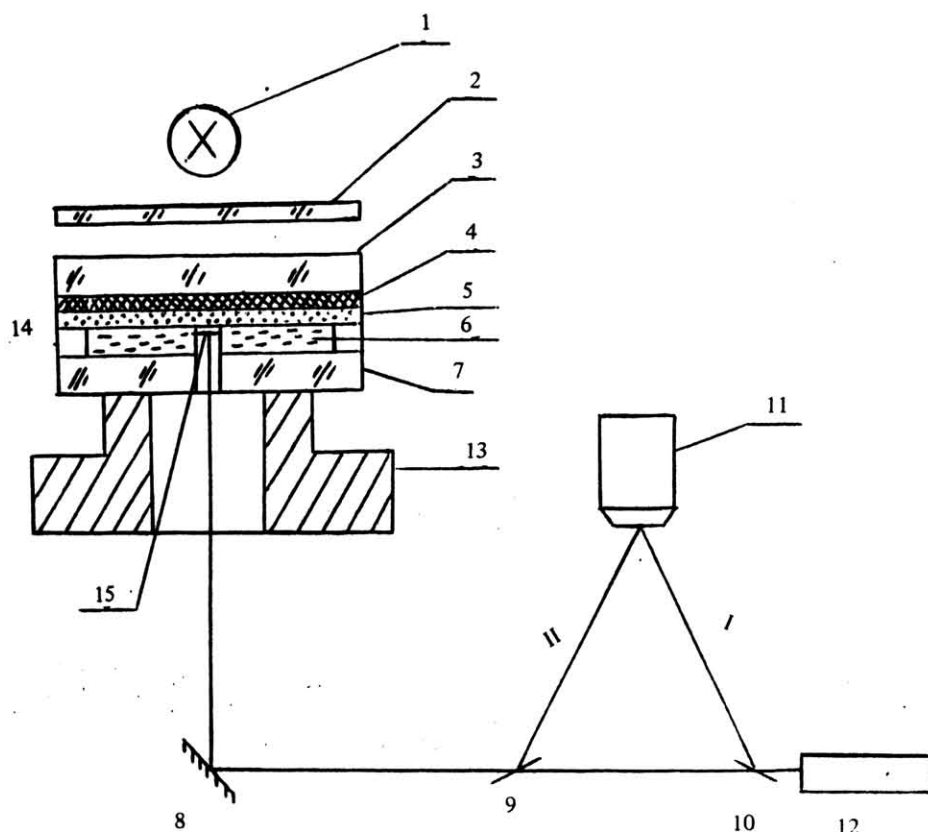


Рис. 1

- 1 - лампа ФРС-350; 2 - фильтр УФС-6; 3 - подложка фотоэмульсии; 4 - фоточувствительный слой с изображением оптического элемента; 5 - полимерный подслои; 6 - ЖФПК; 7 - стеклянная подстилка с отверстием по центру; 8 - зеркало; 9, 10 - полупрозрачные зеркала; 11 - микрообъектив микроскопа; 12 - He - Ne лазер; 13 - опорная платформа; 14 - прокладки из полиэтилена; 15 - напыленный медью кружок

полупрозрачное зеркало 9 и зеркало 8, луч отражается от напыленной площадки на верхней, образующей слой ЖФПК, плоскости. Пройдя обратным порядком и отразившись от полупрозрачного зеркала 9, луч лазера образует объектный луч II. Причем в центральном канале между образующими слой плоскостями 5 и 7 нет фотополимера, так что никаких поправок, учитывающих разность хода в жидком фотополимере, вносить не надо.

Как видно, в данной схеме интерферометра сдвиг образующей плоскости 5 относительно плоскости 7 на $\frac{\lambda}{2}$ ($\lambda = 628 \text{ мкм}$) будет соответствовать сдвигу полос в поле зрения микрообъектива 11 на одну полосу.

1. Однокомпонентная композиция

Рассмотрим сначала поведение однокомпонентной системы. Толщина прокладок, определяющих толщину ЖФПК, составляла 50 мкм. Собирался сэндвич, как показано на рис. 1, с необескислороженной однокомпонентной композицией. В ходе нескольких экспериментов композиция вела себя одинаковым образом, а именно: происходило уменьшение толщины слоя от 1 до 3 мкм.

2. Двухкомпонентная композиция

Рассмотрим поведение двухкомпонентной композиции. Заметим сразу, что двухкомпонентная композиция, в отличие от однокомпонентной, намного "капризнее" и порой ведет себя непредсказуемым образом. Как было замечено в ходе экспериментов, поведение ее зависит и от температуры, при которой шел эксперимент, и от влажности воздуха, и от времени проведения эксперимента, отсчитываемого от момента приготовления композиции, а также от добавок в композицию обескислороживающей компоненты или вакуумирования. При вакуумировании композиция ведет себя гораздо более стабильно, причем всегда происходит уменьшение слоя по толщине.

Рассмотрим поведение двухкомпонентной композиции с добавкой, поглощающей кислород воздуха.

В течение времени экспозиции, равного 10 мин, при освещенности 10 лк происходило возрастание зазора. Полосы в интерферометре сдвинулись на 3,5 полосы, что соответствует приращению зазора на 1 мкм.

Затем ставилась серия экспериментов с целью проверить гипотезу о том, что действительно возрастание толщины зазора вызывается тем, что экспонирование проводится через транспарант, периодически модулирующий световое поле. Для этого вместо маски плоского оптического элемента брали плоское стекло. В этом случае всегда происходило уменьшение зазора. Причем величина уменьшения зазора соответствовала усадке для данной композиции, т. е. гипотеза качественно подтверждалась.

Через четверо суток с той же композицией был поставлен повторный эксперимент. При этом чтобы проверить, влияют ли температурные эффекты на поведение композиции, несмотря на то, что были приняты меры для их исключения, экспонирование проводилось через маску фокусатора с прерыванием по времени. При этом в течение 5 мин происходило увеличение зазора на 0,75 мкм. Далее экспонирование прерывалось на 5 мин, в течение этого времени сдвига полос не наблюдалось. После этого был проведен оценочный контроль на степень конверсии композиции (путем сдавливания края сэндвича). Оказалось, что композиция находится в жидком состоянии. Далее, после того, как система выстояла некоторое время и движение полос, вызванное возмущением, прекратилось, экспозиция была продолжена. При этом в течение 20 мин наблюдалось непрерывное движение полос в сторону увеличения зазора еще на 2,3 мкм. При разборе сэндвича оказалось, что конверсия слоя очень мала. (На фоне студенистого слоя только начали образовываться концентрические зоны). График изменения толщины зазора от времени экспозиции приведен на рис. 2.

Затем были проведены эксперименты со свежеприготовленными двухкомпонентными композициями при различных концентрациях мономера. Графики поведения толщины зазора при этом показаны на рис. 3. На графике *a* видим, что в однокомпонентной композиции идет уменьшение толщины слоя.

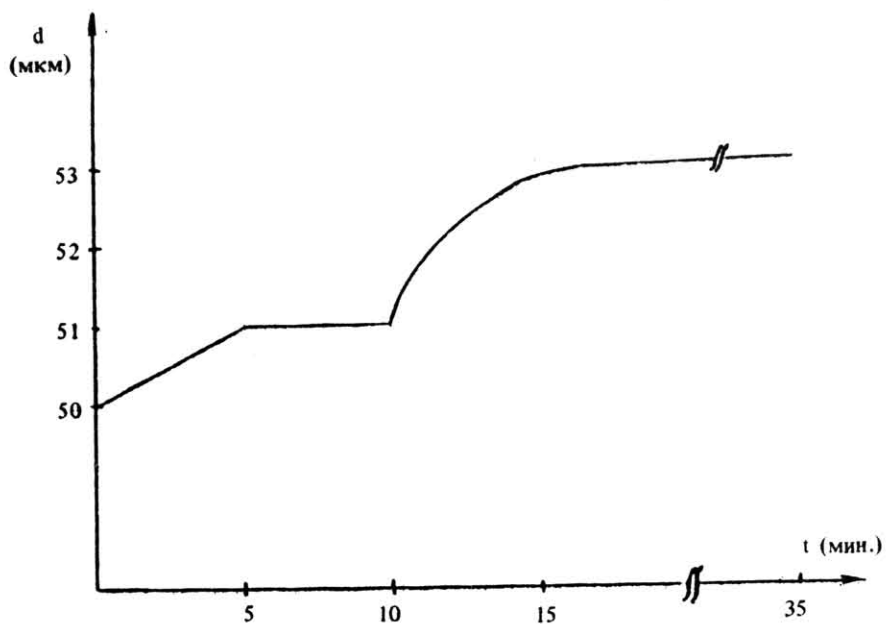


Рис. 2. График изменения толщины зазора от времени экспозиции

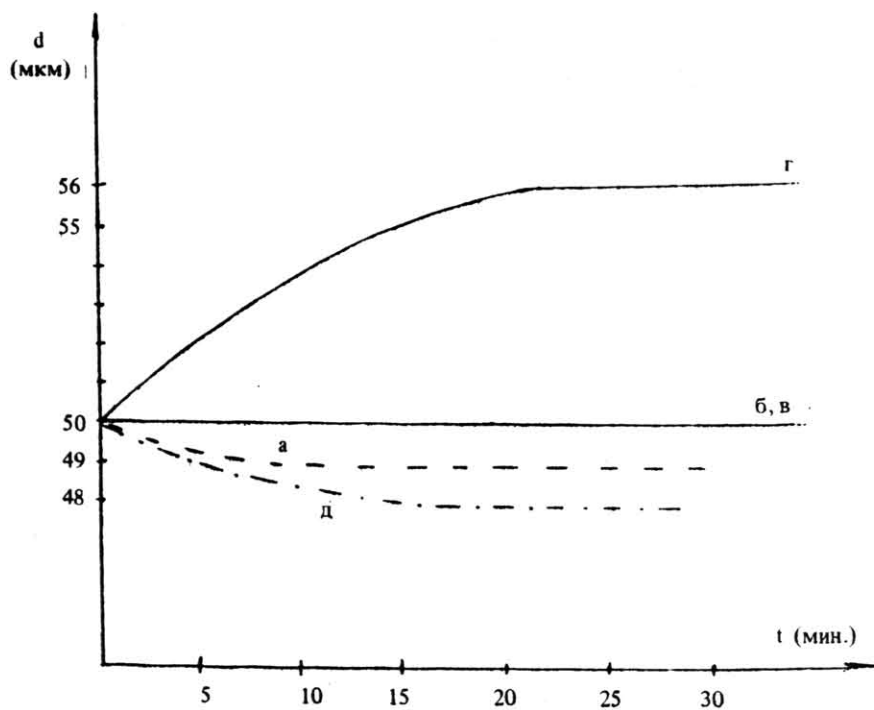


Рис. 3.

а - олигомер 100%, мономер 0%; б - олигомер 84%, мономер 14%; в - олигомер 75%, мономер 25%; г - олигомер 75%, мономер 23% + противокислородная добавка 2%; д - см. пункт в + вакуумирование

В двухкомпонентной композиции с содержанием противокислородной добавки 2% (график 2) пошло резкое увеличение зазора. Но когда на той же композиции через 1,5 ч был повторен этот эксперимент, изменения толщины не наблюдалось, поведение композиции совпадает с графиками б, в.

При вакуумировании композиции зазор во всех случаях уменьшался. Характер поведения приведен на графике 3.

Были проведены эксперименты по исследованию поведения «зазора» в зависимости от концентрации инициатора. Концентрация менялась от 1 до 5%, при этом никаких изменений в поведении «зазора» не наблюдалось.

В ы ы ы ы ы. Из приведенных экспериментальных исследований можно сделать следующие выводы.

1. При освещении слоя двухкомпонентной композиции световым полем с пространственной периодичностью может наблюдаться увеличение толщины этого слоя.

2. Увеличение толщины слоя наблюдалось только в случае присутствия в композиции кислорода воздуха и только в присутствии достаточного количества «противокислородного порошка».

3. Существенную роль играет время, прошедшее от момента введения противокислородного порошка в композицию до начала эксперимента.

4. Увеличение толщины слоя ЖФПК происходит на очень низких стадиях конверсии.

Высота рельефа, получаемая в результате приведенных экспериментальных данных, никак не коррелирует с исследуемым в данной работе поведением толщины слоя ЖФПК во время экспозиции. Максимально достижимая высота рельефа на слое ЖФПК, получаемая проецированием в слой амплитудной периодической функции, при прочих равных условиях главным образом зависит от степени конверсии слоя, достигаемой перед разборкой системы.

Литература

1. Соловьев В.С., Бойко Ю.Б. Запись рельефных изображений на жидких фотополимеризующихся композициях. В сб. «Компьютерная оптика», вып. 8. - М.: МЦНТИ, 1990.

2. Карпеев С.В., Соловьев В.С. Методы получения рельефных изображений с непрерывным профилем. В сб. «Компьютерная оптика», вып. 4. - М.: МЦНТИ, 1989.

3. Положительное решение N 10343-462/11-02 от 20.07.89 на заявку N 4637682/23-05/175812/ от 20.12.88 «Способ изготовления рельефно-фазовых фокусирующих элементов». Соловьев В.С., Бойко Ю.Б., Соффер В.А., Сисакян И.Н., Гранчак В.М., Делунг И.И.