

07;12  
©1994

## ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ И ФАЗОВОЙ МОДУЛЯЦИИ СЕРЕБРОСОДЕРЖАЩИХ КАПИЛЛЯРНЫХ СРЕД

*О.В.Андреева, А.М.Курсакова, Е.Р.Гаврилюк*

Капиллярные среды — новый класс объемных высоко-разрешающих светочувствительных материалов для голографии, созданный на основе пористых стекол [1]. Их основным преимуществом является возможность сохранения высоких фотографических и голографических параметров регистрирующих материалов при высокой механической прочности среды за счет кремнеземного каркаса. Кроме того, наличие свободного объема в микропорах позволяет осуществлять различные варианты химико-фотографической обработки для усиления зарегистрированных голограмм и корректировки их параметров.

В работах [1,2] была показана возможность использования галоидного серебра в качестве светочувствительного соединения в такой системе. Синтез галоидного серебра проводился внутри кварцеидного каркаса в присутствии желатина. Разработанные условия синтеза и режимов постэкспозиционной обработки позволили получить амплитудно-фазовые голограммы при распределении проявленного серебра по всей глубине образца [2]. Спектр ослабления проявленных образцов при этом имеет ярко выраженный селективный характер. Высокие значения оптической плотности исследуемых образцов в коротковолновой области спектра не поддаются измерению, поэтому были приготовлены разбавленные препараты путем растворения кварцеидного каркаса в щелочи с последующим разбавлением водой и добавлением желатина до 1% раствора с целью предотвращения седиментации частиц. Приготовленные таким образом препараты не изменяли своих параметров в течение по крайней мере двух недель, что позволяло производить необходимые измерения в стабильных условиях.

Приведенный на рис. 1 типичный спектр ослабления проявленных частиц серебра в таком препарате однозначно соответствует спектрам ослабления коллоидных частиц серебра сферической формы [3]. На этом же рисунке приведен спектр ослабления водного препарата частиц коллоидного

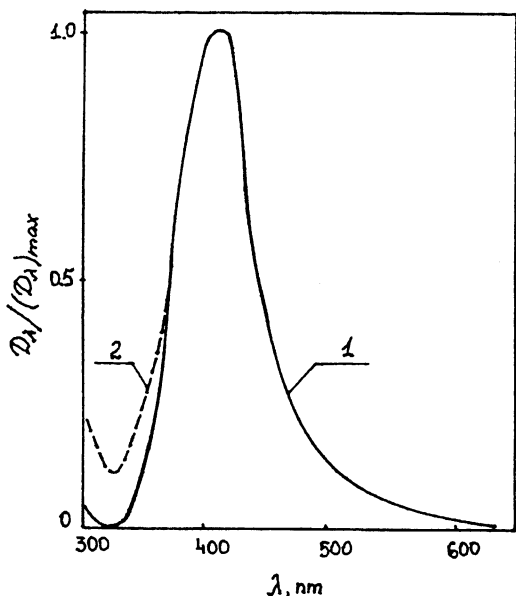


Рис. 1. Приведенные спектры ослабления водных препаратов частиц проявленного серебра капиллярной среды (1) и ЛОИ-2 (2).

серебра, полученных при проявлении сильно экспонированных фотопластинок ЛОИ-2, используемых для регистрации трехмерных голограмм. Как видно из рисунка, спектры ослабления в обоих случаях практически совпадают. Таким образом, можно сделать вывод, что, несмотря на различие условий синтеза и методов постэкспозиционной обработки в капиллярных средах и фотопластинках, частицы проявленного серебра имеют одинаковую структуру, форму и размер [3]. Последнее является довольно неожиданным результатом, так как размер пор кремнеземного каркаса накладывает жесткие ограничения на размер сформированных частиц серебра, и можно было предполагать, что частицы в капиллярной среде будут меньше по размеру и более монодисперсны, чем в фотопластинках, что должно было привести к сужению спектра ослабления. Конечно, обнаруженное совпадение могло произойти из-за потери части мелкодисперсной фракции за счет растворения и коагуляции частиц во время приготовления препарата. Однако оно может указывать и на существование предельных параметров коллоидных сферических частиц металлического серебра, получаемых в процессе химико-фотографической обработки, независимо от типа регистрирующей среды.

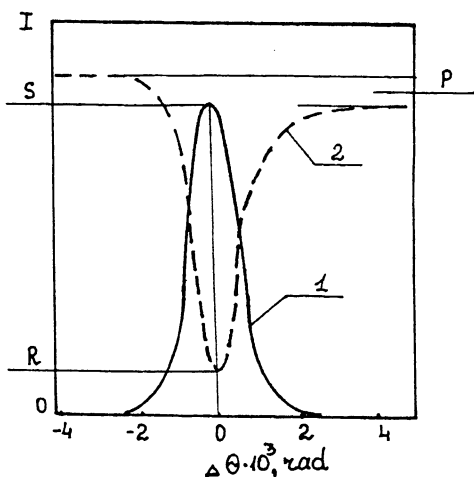


Рис. 2. Зависимость интенсивности дифрагированного (1) и проходящего (2) пучков от угла падения восстанавливающего пучка для серебросодержащей капиллярной голограммы.

Как уже говорилось, особенностью исследуемых регистрирующих материалов является наличие сети сквозных капилляров, обеспечивающих проникновение реагентов внутрь образца при синтезе и обработке. Кроме того, введение в свободный объем капиллярной среды иммерсионной жидкости с показателем преломления  $n_f$ , близким к показателю преломления кварцеидного каркаса, значительно уменьшает светорассеяние системы, но, как было показано в работе [4], приводит к сильному снижению модуляции показателя преломления зарегистрированных в такой системе фазовых голограмм. Нами были определены фазовые характеристики серебросодержащих амплитудно-фазовых голограмм при введении внутрь образцов иммерсионных жидкостей с различным показателем преломления: воды ( $n = 1.34$ ), ацетона (1.36), изопропилового спирта (1.38), четыреххлористого углерода (1.46).

Измерения углового распределения дифрагированного и проходящего пучков исследуемых голограмм (рис. 2) производились одновременно, чтобы по методике, описанной в работе [5], рассчитать величину фазовой модуляции в каждом отдельном случае:

$$f_1 = \frac{2\pi n_1 d}{\lambda \cos \theta_0} = \arctan \frac{R - S}{P},$$

где  $n_1$  — амплитуда модуляции показателя преломления,  $d$  — толщина голограммы,  $\lambda$  — длина волны восстановлен-

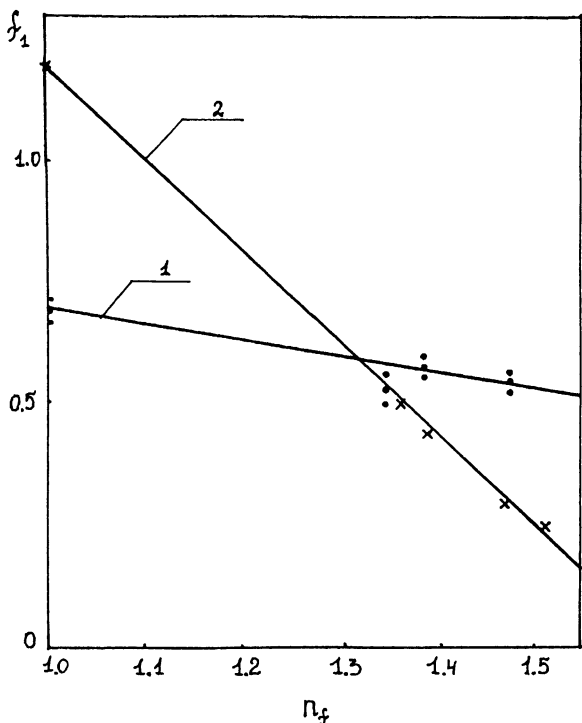


Рис. 3. Зависимость амплитуды фазовой модуляции капиллярного композита  $f_1 = \frac{2\pi n_1 d}{\lambda \cos \theta_0}$  от показателя преломления вводимой иммерсии  $n_f$  для серебрясодержащей голограммы (1) и голограммы на хромированном поливиниловом спирте (2).

ного излучения;  $R$ ,  $S$  — интенсивности прошедшего и дифрагированного пучков при условиях Брэгга,  $P$  — интенсивность пучка, прошедшего без дифракции. Следует подчеркнуть, что необходимые для расчетов параметры ( $S$ ,  $R$ ,  $P$ ) измерялись одновременно, а голограммы имели аподизированный контур (без боковых максимумов) и дифракционную эффективность порядка 60–90%. В этом случае ошибка определения  $f_1$  минимальна.

Проведенные измерения показали, что амплитуда модуляции показателя преломления серебрясодержащих голограмм практически не зависит от показателя преломления наполнителя свободного объема  $n_f$  в интервале изменений последнего от 1.0 до 1.46. Полученные результаты иллюстрирует рис. 3, где в качестве сравнения дана аналогичная зависимость для голограммы, зарегистрированной в хромированном поливиниловом спирте (ХПВС). Уровень экспо-

зиции в обоих случаях одинаков. Как видно из приведенных данных, в то время как в голограмме на ХВПС при введении в сеть капилляров, заполненных воздухом, иммерсии с  $n_f = 1.46$  происходит уменьшение амплитуды модуляции показателя преломления более чем в 4 раза, в серебросодержащей голограмме это уменьшение составляет всего около 20%. Отметим, что  $n_1$  исследуемой голограммы в воде несколько ниже ожидаемой. По-видимому, это связано с тем, что при введении воды в свободный объем капилляров происходит набухание желатина, приводящее к некоторой расфазировке системы за счет отклонения желатиновых молекул и частиц серебра с ним связанных от стабильных местоположений.

Указанные факты (формирование компактной частицы серебра сферической формы и коллоидной структуры, независимость ее фазовых свойств от показателя преломления окружающей среды) позволяют предположить наличие желатиновой оболочки вокруг серебряной частицы внутри кварцеидного каркаса, толщина которой определяется свойствами желатина, его концентрацией и условиями химико-фотографической обработки.

Авторы выражают глубокую признательность Российскому Фонду Фундаментальных исследований за поддержку данной работы.

#### Список литературы

- [1] Сузанов В.И., Хазова М.В., Курсакова А.М., Андреева О.В. // Оптика и спектроскопия. 1988. Т. 65. В. 2. С. 474-478.
- [2] Andreeva O.V. // SPIE. 1989. V. 1238. P. 231-234.
- [3] Skillman D.C., Berry C.R. // JOSA. 1973. V. 63. N 6. P. 707-713.
- [4] Кучинский С.А., Сузанов В.И., Хазова М.В. // Оптика и спектроскопия. 1992. Т. 72. В. 3. С. 196-210.
- [5] Алексеев-Попов А.В., Гевелюк С.А. // ЖТФ. 1982. Т. 52. С. 10. С. 2100-2102.

Поступило в Редакцию  
29 декабря 1994 г.