ПРИМЕНЕНИЕ ФОТОТЕРМОПЛАСТИЧЕСКИХ НОСИТЕЛЕЙ ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ ГОЛОГРАММ МИКРООБЪЕКТОВ

Аркадий КИРИЦА, Олег КОРШАК, Владимир ПРИЛЕПОВ, Дорин СПОЯЛЭ, Юрий ЖИДКОВ, Надежда НАСЕДКИНА

НИЛ фототермопластической записи

În lucrare sunt cercetate posibilităţile utilizării purtătorului fototermoplastic cu stratul fotosensibil din semiconductor halcogenic sticlos în baza sistemului As-Se-S-Sn şi termoplastic în bază de poliepoxipropilcarbazol pentru înregistrarea hologramelor vaporilor condensaţi ai lichidului. Sunt studiate procesele de înregistrare a hologramelor de fază-relief ale microobiectelor transparente în formă de micropicături condensate ale vaporilor de apă.

In the present work there were studied the possibilities of application of the photothermoplastic media, including the light sensitive chalcogenide semiconductor layer (As-Se-S-Sn system) and thermoplastic (polyepoxypropilcarbazole) for recording of the holograms of condensed liquid vapors. There were studied the processes of the recording of relief-phase hologram of the transparent micro-objects in the form of microdrops of the condensed water's vapors.

1. Введение

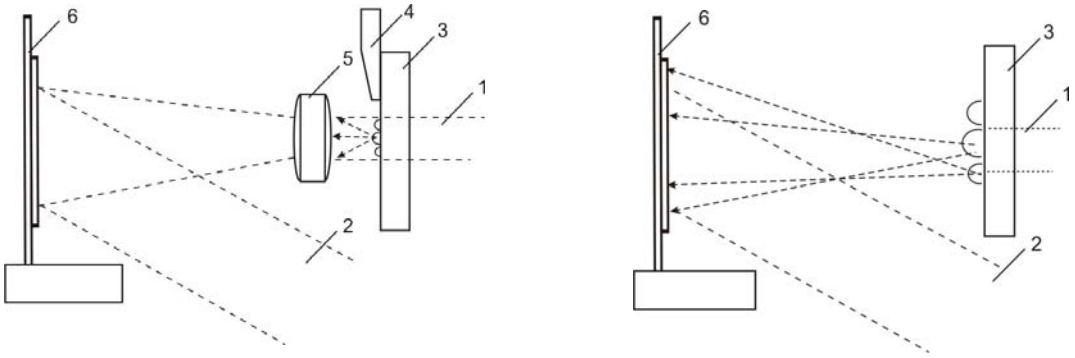
Наиболее значимым практическим применением фототермопластических носителей (ФТПН) является регистрация голограмм и интерферограмм. ФТПН обладают высокой фоточувствительностью (порядка 10^7 см^2/Дж), разрешающей способностью (>1000 мм$^{-1}$) и высокой скоростью регистрации (~3 с), что позволяет успешно использовать ФТПН для регистрации голограмм и интерферограмм в реальном масштабе времени.[1]. При выборе оптимальной методики записи, ФТПН достаточно успешно применяются в голографической микроскопии при регистрации микрообъектов.

Основной целью изложенного эксперимента является разработка методики и изучение процессов регистрации голограмм сконденсированных из атмосферы паров жидкостей с применением процесса фототермопластической записи. Актуальность подобных исследований заключается в создании новых методов экспресс-анализа загрязнения состава атмосферы. В литературе описано достаточно много различных методик с применением голографических методов экспресс-анализа на наличие в составе атмосферы паров жидкостей и аэрозолей, требующих достаточно высокой скорости регистрации голограмм.

2. Эксперимент

Основной целью изложенного эксперимента является разработка методики и изучение процессов регистрации голограмм сконденсированных из атмосферы паров воды. Данная задача сопряжена с определенными трудностями прежде всего из-за достаточно малых размеров капель (10-30 мкм) и невысоких значений коэффициента преломления. Согласно литературным данным, при регистрации голограмм микрообъектов с последующим голографическим увеличением наиболее оптимальными методами являются внеосевые Фурье голограммы и сфокусированные голограммы с предварительным оптическим увеличением [3,4]. Для проведения эксперимента была сконструирована установка, позволяющая регистрировать голограммы на ФТПН в излучении He-Ne лазера (λ=0,63 мкм), принципиальная схема которой приведена на рис.1.

Предметный пучок лазерного излучения (1) проходит через прозрачную стеклянную пластину (3) толщиной 10 мм, прикрепленную к охлаждающему устройству (4) , позволяющему понижать температуру стеклянной пластины до -5^{o}C. Теплопроводящий участок охлаждающего элемента (4) прикреплен к передней поверхности стеклянной пластины, расположенной в фокальной плоскости объектива (5). Большая толщина пластины и низкая теплопроводность стекла позволяют исключить процесс конденсации паров на противоположной стороне подложки. Объектив (5) фокусирует на поверхности СН (6) резкое изображение сконденсированных капель, и при наложении опорного пучка (2) происходит формирование интерференционной картины. Предложенная схема записи позволяет регистрировать сфокусированные голограммы с предварительным оптическим увеличением. Несложные изменения в конструкции позволяют регистрировать также и внеосевые Фурье голограммы.



a) b)

Рис.1. Принципиальные схемы установок для регистрации голограмм микрообъектов на ФТПН: а) сфокусированных голограмм: 1 - предметный пучок, 2 - опорный пучок, 3 - прозрачная пластина, 4 - устройство для понижения температуры, 5 - объектив, 6-устройство ФТП записи.; b) Фурье голограмм.

Исследования проводились на полученном ФТПН со светочувствительным слоем халькогенидного стеклообразного полупроводника на основе системы As-Se-S-Sn и термопластиком на основе полиэпоксипропилкарбазола, который обладает разрешающей способностью до 1000 мм$^{-1}$ при максимальных значениях дифракционной эффективности η=12%.

После проведенных исследований было установлено, что метод регистрации сфокусированных голограмм более предпочтителен по сравнению с регистрацией внеосевых Фурье голограмм. Прежде всего это связано с особенностями регистрации микрообъектов в виде капель жидкости. При средних размерах капель в 10-30 мкм происходит значительное расхождение предметного пучка ввиду того, что каждую из капель можно рассматривать как микролинзу. В такой ситуации световые пучки от каждой из капель интерферируют не только с опорной волной, но и между собой, формируя на поверхности ФТПН переменный спектр пространственных частот широкого диапазона (рис.1 b). Качественное восстановление такой голограммы сопряжено со значительными трудностями в первую очередь ввиду низкой дифракционной эффективности, обусловленной резонансным характером записи ФТПН.

При применении метода сфокусированных голограмм ситуация значительно улучшается. В данном случае угол расхождения предметного пучка будет определяться параметрами используемого объектива, что позволит рассчитать из условия Брэгга спектр пространственных частот, формируемых при записи голограммы. К тому же, согласно литературным данным, восстановление сфокусированных голограмм сопровождается значительно меньшими искажениями по сравнению с внеосевыми Фурье голограммами.

Была получена зависимость дифракционной эффективности от пространственной частоты записи для голограмм, зарегистрированных по обеим вышеописанным методикам (рис.2).

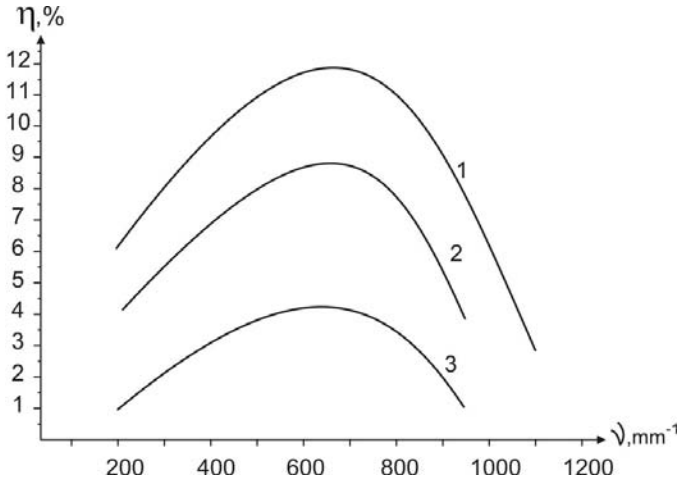


Рис.2. Зависимость дифракционной эффективности от пространственной частоты: 1 - интерференционные решетки, 2 - сфокусированные голограммы, 3 – голограммы Фурье.

Кривая 1 соответствует интерференционным решеткам, зарегистрированным при схождении плоскопараллельных опорного и предметного пучков, откуда можно определить резонансную частоту записи для используемого ФТПН, γ = 700 мм$^{-1}$, на которой наблюдается максимальное значение дифракционной эффективности η=12%. Из зависимости для внеосевых Фурье голограмм (кривая 3) и сфокусированных голограмм (кривая 2) видно, что максимальное значение дифракционной эффективности у сфокусированных голограмм (η=9%) существенно выше, чем у Фурье голограмм. К тому же предварительное оптическое увеличение при регистрации сфокусированных голограмм существенно повышает эффект голографического увеличения при восстановлении изображения исходного объекта.

Последовательность проведения эксперимента заключалась в постепенном понижении температуры подложки до начала формирования конденсата на поверхности стеклянной пластины. Исследования проводились в лабораторных условиях при температуре в помещении +20ºС и относительной влажности воздуха в пределах 70-75%. В момент появления на охлажденной поверхности подложки сконденсированных паров воды начинался процесс регистрации голограмм с интервалом в 15 секунд между кадрами. Восстановление сфокусированных голограмм можно проводить отдельно от установки для записи, что позволяет продолжать процесс регистрации до тех пор, пока увеличение размера капель не приводит к их слиянию.

3. Экспериментальные результаты и их интерпретация

Регистрация голографических изображений начиналась с момента появления первых признаков конденсации паров воды на переохлажденной поверхности стеклянной подложки. На рис. За представлена фотография восстановленного изображения начальной фазы процесса конденсации. На выделенном участке голограммы размером 0,25 мм^2 наблюдаются единичные капли правильной сферической формы размером 8-10 мкм, вокруг которых зафиксированы более мелкие детали, являющиеся начальными центрами конденсации с пока еще не сформировавшимися четкими границами. На следующей голограмме, зарегистрированной через 10 с, наблюдается завершение фазы образования центров конденсации, и на восстановленном изображении отчетливо видны сконденсированные капли, размер которых увеличился вдвое и составил 15-20 мкм (рис.3b). Как видно на восстановленном изображении, на данной фазе процесса конденсации наряду с увеличением размеров капель наблюдается отступление от сферической формы.

На следующей голограмме, зарегистрированной через такой же временной промежуток, зафиксированы сконденсированные капли размером 20-25 мкм, что позволяет отметить снижение скорости конденсации паров (рис.3c).Все капли на выделенной поверхности имеют четкие границы, и при освещении голограммы восстанавливается четкое объемное изображение каждой капли.

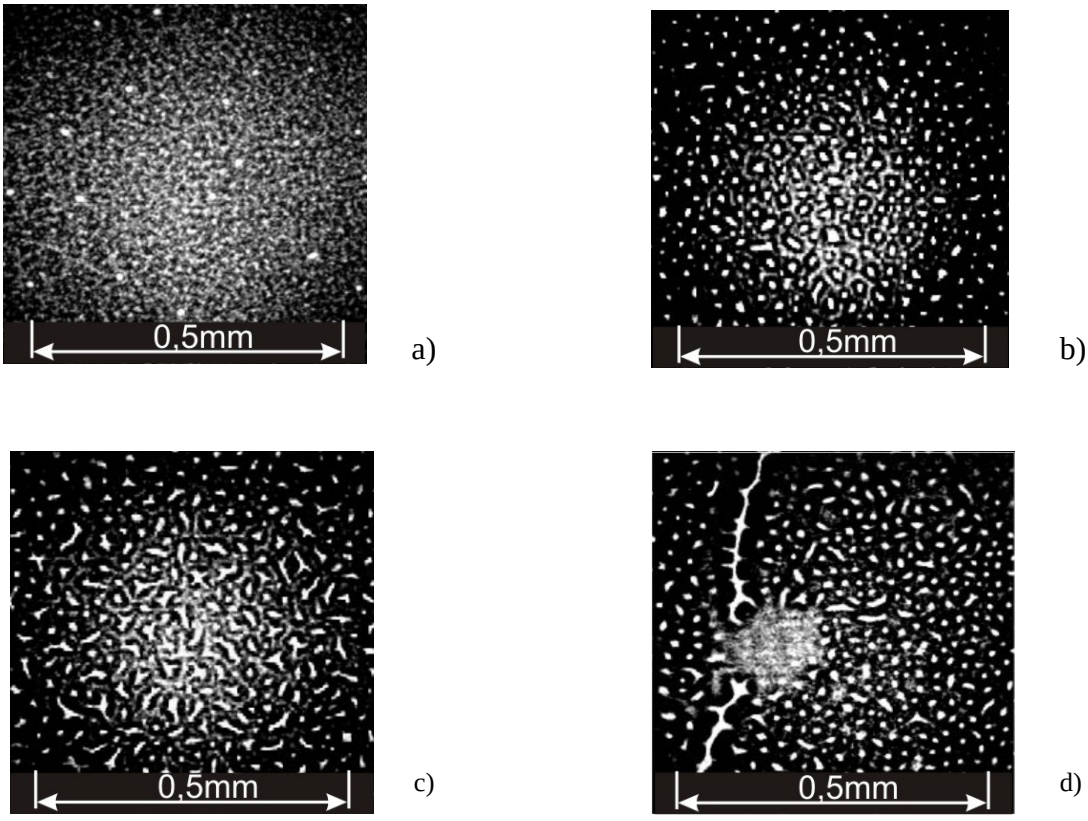


Рис.3. Восстановленные изображения голограмм сконденсированных паров воды:
a) начальный момент конденсации, b) через 10c, c) через 20c, d) через 90 c.

На рис.3d представлено восстановленное изображение голограммы участка поверхности подложки, на котором зарегистрирована начальная фаза процесса слияния сконденсированных капель.

Сохранение трехмерных характеристик при регистрации голограммы позволило получить объемные характеристики объекта при восстановлении изображения. На рис.4 представлены фотографии последовательного сканирования микрокапель по глубине изображения выделенного участка голограммы диаметром 100 мкм. При восстановлении голограммы отчетливо видна геометрическая форма основания каждой капли, сконденсированной на поверхности стеклянной подложки (рис.4a). Дальнейшее сканирование по глубине изображения позволило проследить изменение формы капель от основания до вершины (рис.3b-3d).

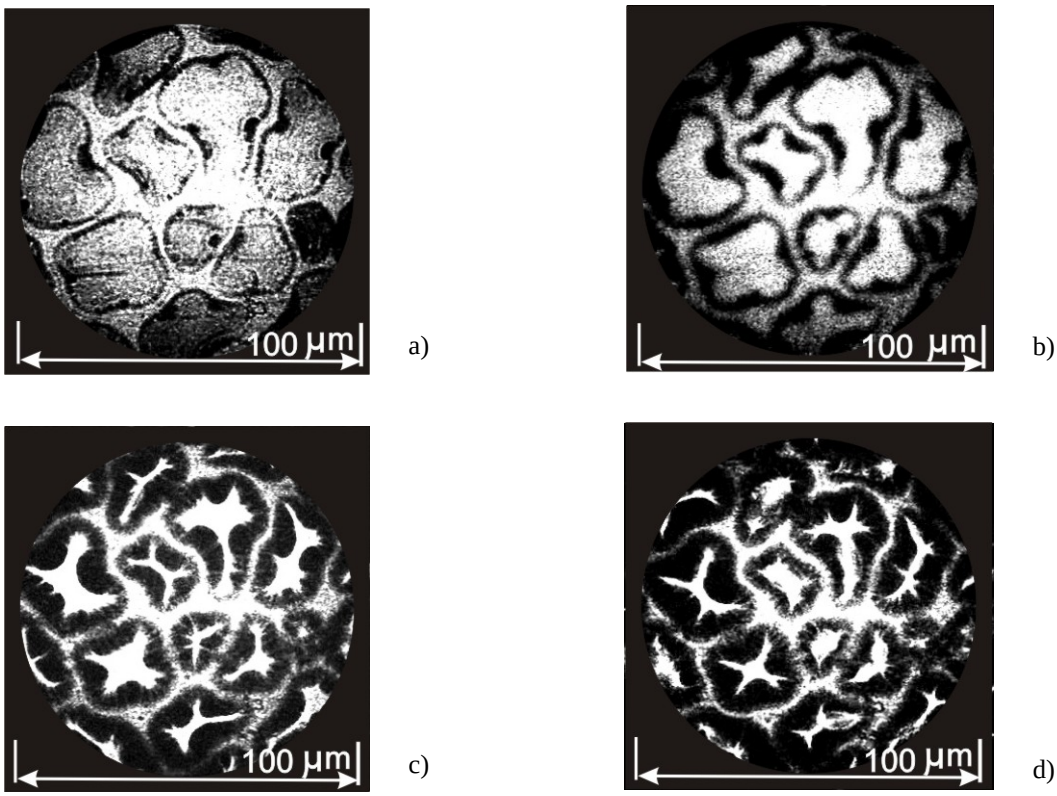


Рис.4. Восстановленные голограммы при поперечном сканировании изображения микрокапель.

На полученных снимках отчетливо видно, что сформировавшиеся капли отличаются друг от друга как размерами, так и геометрической формой.

Таким образом, методика фототермопластической записи может успешно применяться при регистрации голограмм прозрачных микрообъектов. При регистрации таких голограмм предметный пучок лазерного излучения проходит через объект, что позволяет регистрировать наряду с наружной геометрической формой и внутреннюю структуру объекта. Применение методики регистрации сфокусированных голограмм позволяет использовать эффект голографического увеличения при восстановлении объемных изображений объектов в виде сконденсированных капель жидкости.

Литература

1. Panasiuk L.M., Kiritsa A.B., Chapurin I.V. Use of Photothermoplastic Media to Record Rainbow Holograms // Optics and Spectroscopy. - 1995. - V.78. - No.4. - P.617-618.
2. Колфилд Г. Оптическая голография. - Москва: Мир, 1982.
3. Франсон М. Голография. - Москва: Мир, 1972.

Prezentat la 18.02.2008