

Фемтосекундная регистрация голограмм и голограммоподобных структур на объемных регистрирующих средах[†]

Д.А.Дементьев*, В.О.Компанец**, Ю.А.Матвеец**, О.Б.Серов**, А.М.Смолович***, С.В.Чекалин**

Пятидесятифемтосекундными импульсами второй гармоники лазера на титанате сапфира зарегистрированы отражательные голограммы в толстых слоях бихромированной желатины.

Ключевые слова: фемтосекундные импульсы, объемные голограммы.

В работах [1–3] сообщалось о наблюдении ахроматического восстановления волнового фронта. Этот эффект связан с геометрооптическим отражением восстанавливающего излучения от поверхностей постоянной разности фаз объектной и опорной волн, зарегистрированных в объеме среды [4]. Поверхности постоянной разности фаз записывались встречными фемтосекундными импульсами лазерного излучения [5]. В этом случае механизм геометрооптического отражения доминирует над механизмом дифракции излучения на периодической интерференционной структуре благодаря малому числу зарегистрированных периодов последней, обусловленному малой длительностью импульсов.

В работах [1–3, 5] в качестве регистрирующей среды использовались специально изготовленные в РНЦ «Курчатовский институт» особо толстые (до 300 мкм) слои галоидосеребряных материалов. При фотохимической обработке этих слоев возникли существенные проблемы, связанные с тем, что при указанных толщинах было практически невозможно добиться равномерного проявления по всей толщине фотослоя. Кроме того, не была удовлетворительно решена проблема изменения толщины слоя в результате фотохимической обработки (проблема усадки). В условиях эксперимента даже небольшая усадка вела к искажению формы восстановленного волнового фронта. Рассеяние света в слое также было недопустимо большим. В связи с этим в настоящей работе исследуется возможность фемтосекундной записи голограммоподобных структур на несеребросодержащих материалах.

Материалом, использовавшимся в экспериментах, были особо толстые (80–120 мкм) слои бихромированной желатины. Для уменьшения отслаивания чувствитель-

ного слоя, которое обычно наблюдается при таких толщинах, подложка покрывалась специальным адгезионным материалом. Постэкспозиционная обработка чувствительных слоев включала в себя размачивание в холодной воде и проводку через растворы изопропилового спирта с повышением концентрации. Использовались два режима сушки: в кипящем изопропиловом спирте и на воздухе во вращающейся центрифуге. В последнем случае поверхность высушенных пластинок защищалась покровным стеклом с иммерсионным материалом – эпоксидной смолой ЭД-5 с предварительно обезвоженным отвердителем (полиэтиленполиамидом). После отверждения смолы производился прогрев пластинок, при котором происходила дальнейшая усадка. В результате толщина высушенных слоев становилась близкой к исходной, что позволяло при восстановлении изображения использовать ту же длину волны, что и при регистрации.

Регистрация голограммы проводилась на установке с генератором мощных фемтосекундных импульсов на основе кристалла $Al_2O_3:Ti^{3+}$ с накачкой твердотельным непрерывным диодно-накачиваемым лазером на кристалле $YVO_4:Nd^{3+}$ «Millenia V». Основные параметры твердотельного лазера накачки таковы: выходная мощность 5 Вт в моде TEM_{00} , длина волны 532 нм, нестабильность не хуже 1 %, расходимость не более 0.5 мрад. Измеренная ширина спектра импульсов генератора и хорошо согласующаяся с ней ширина автокорреляционной функции соответствовали длительности порядка 50 фс, что при средней мощности 250 мВт дает энергию 5 нДж в одном импульсе.

Экспонирование осуществлялось излучением на частоте второй гармоники генератора фемтосекундных импульсов (средняя длина волны 410 нм). Для преобразования во вторую гармонику использовались нелинейные кристаллы LBO, BBO и иодат лития. Кристаллы имели толщину 0.5–1 мм, максимальный коэффициент преобразования составлял 10 %.

Регистрация голограммоподобных структур проводилась по схеме со встречными пучками, где лазерные импульсы распространялись точно навстречу друг другу, а их пространственно-временное пересечение происходило внутри регистрирующей среды. Аналогичная схема регистрации применялась в [5]. Оптические пути импульсов выравнивались по использованной в указанной работе методике. Кроме того, была предложена новая

[†]По материалам доклада на семинаре «Сверхбыстрые процессы в веществах и лазерные фемтотехнологии» (Н.Новгород, Институт прикладной физики РАН, 7–8 декабря 2000 г.).

*Акустический институт им. Н.Н.Андреева, Россия, 117036 Москва, ул. Шверника, 4

**Институт спектроскопии РАН, Россия, 142190 Троицк Моск. обл.

***Научно-технологический центр уникального приборостроения РАН, Россия, 117342 Москва, ул. Бултерова, 15; petersmol@mtu-net.ru; smol@cajeme.cifus.uson.mx

более удобная методика, основанная на возникновении обратной связи между системой регистрации и лазером. Обратная связь возникает после настройки регистрирующей схемы при точном равенстве оптических путей. При этом спектр генерируемого импульса, постоянно наблюдаемый на дисплее компьютера, резко искажается. Такая методика позволяет уравнивать оптические пути с погрешностью до 10 мкм. При регистрации нормаль к фотопластинке составляла с оптической осью угол 7° . Было проэкспонировано 24 фотопластинки на бихромированной желатине (по 20 голограмм на каждой пластинке). Энергия экспозиции менялась в пределах 1–100 мДж/см².

При восстановлении использовались различные источники: лампа спектрофотометра, аргоновый лазер (линии с $\lambda = 474, 488, 496.5$ и 501.7 нм) и лазер на титанате сапфира. В последнем случае длина волны излучения плавно менялась в небольшом диапазоне около частоты второй гармоники для проверки наличия ахроматического изображения.

При наблюдении обработанных пластинок бихромированной желатины в белом свете восстановленные изображения имели высокую яркость. При восстановлении лазерными импульсами второй гармоники генератора на $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Ti}^{3+}$ пластинка сначала устанавливалась перпендикулярно лазерному лучу. При этом наблюдались два слабых отражения по разные стороны от нормали к пластинке в горизонтальной плоскости под углами $+16$ и -16° ($+1$ -й и -1 -й порядки дифракции на поверхностной

голограмме). При повороте пластинки вокруг вертикальной оси эти отражения смещались, не меняя своей яркости. При изменении длины волны лазера от 411 до 421 нм изображения на расстоянии 2 м от голограммы смещались на 1 см.

Брэгговское изображение наблюдалось на длине волны регистрации следующим образом. Когда пластинка ставилась под углом 60° к оптической оси, наблюдалась интенсивная дифракция на отражение. Изображение имело угловую селективность 20° . Спектральная селективность, измеренная на спектрофотометре, составила ~ 25 нм. Шумы при восстановлении были значительно ниже, чем на галоидосеребряных материалах [1–3]. Таким образом, на толстых слоях бихромированной желатины были получены отражательные голограммы с малым рассеянием света в обработанных слоях.

Авторы выражают благодарность Р.В.Рябовой за помощь и полезные обсуждения. Настоящая работа выполнялась при поддержке РФФИ (грант № 00-02-16481). Один из авторов (А.М.С.) выражает также благодарность CONACyT (грант Catedra Patrimonial EX-000563).

1. Дементьев Д.А., Иванов А.Л., Серов О.Б., Смолович А.М., Степанов А.Г., Чекалин С.В. *Письма в ЖЭТФ*, **65**, 388 (1997).
2. Dement'ev D.A., Ivanov A.L., Matveets Yu.A., Serov O.B., Stepanov A.G., Chekalin S.V., Smolovich A.N. *Optics Comms*, **150**, 38 (1998).
3. Chekalin S.V., Dement'ev D.A., Ivanov A.L., Matveets Yu.A., Serov O.B., Smolovich A.M., Stepanov A.G. *Proc.SPIE*, **3733**, 452 (1999).
4. Сисакян И.Н., Смолович А.М. *Письма в ЖТФ*, **17**, 41 (1991).
5. Дементьев Д.А., Матвеец Ю.А., Серов О.Б., Смолович А.М., Чекалин С.В. *Квантовая электроника*, **23**, 293 (1996).