

АХРОМАТИЧЕСКОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ ВОЛНОВОГО ФРОНТА ФЕМТОСЕКУНДНЫХ ЛАЗЕРНЫХ ИМПУЛЬСОВ

Д.А.Дементьев⁺, А.Л.Иванов, О.Б.Серов, А.М.Смолович*,
А.Г.Степанов, С.В.Чекалин¹⁾

Институт спектроскопии РАН
142092 Троицк, Московская обл., Россия

⁺ Акустический институт им. Н.Н.Андреева
117036 Москва, Россия

* ЦКБ уникального приборостроения РАН
117342 Москва, Россия

Поступила в редакцию 10 января 1997 г.

Наблюдалось восстановление волнового фронта путем геометрооптического отражения восстанавливающего излучения от интерференционных поверхностей структуры, зарегистрированной в объемной среде встречными лазерными импульсами. Регистрация производилась с помощью лазера на титанате сапфира. Длительность импульсов составляла 30–40 фс.

PACS: 42.40.Ht, 42.65.Re

В данной работе проведена экспериментальная проверка следующего механизма восстановления волнового фронта [1]. Пусть в объемной среде регистрируется картина интерференции объектной, $A_0(\mathbf{r}) \exp[ikL_0(\mathbf{r})]$, и опорной, $A_R \exp[ikL_R(\mathbf{r})]$, волн, удовлетворяющих скалярным уравнениям геометрической оптики. Здесь $k = 2\pi/\lambda$ – волновое число, λ – длина волны излучения, $L_0(\mathbf{r})$ и $L_R(\mathbf{r})$ – эйконалы волн, $A_0(\mathbf{r})$ и A_R – амплитуды волн, \mathbf{r} – координатный вектор. При геометрооптическом отражении восстанавливающей волны $A_C \exp[ik'L_R(\mathbf{r})]$ от поверхности постоянной разности фаз объектной и опорной волн:

$$L_R(\mathbf{r}) - L_0(\mathbf{r}) = p, \quad (1)$$

где p – константа для данной поверхности, фаза $k'L_{refl}(\mathbf{r})$ отраженной волны на этой поверхности совпадает с фазой падающей волны:

$$k'L_{refl}(\mathbf{r}) = k'L_R(\mathbf{r}). \quad (2)$$

Из (1) и (2) следует

$$L_{refl}(\mathbf{r}) = L_0(\mathbf{r}) + p, \quad (3)$$

то есть с точностью до аддитивной константы эйконал объектной волны восстанавливается при произвольном значении волнового числа k' . Отсюда следует ахроматическое восстановление волнового фронта – поверхности $L_0(\mathbf{r}) = \text{const}$.

Данный механизм восстановления волнового фронта был предложен Денисюком [2] для объемных голограмм. Однако в [1] указано на его принципиальные отличия от голографического механизма восстановления, связанные с отсутствием дифракции восстанавливающего излучения на периодической интерференционной структуре, в локальном периоде которой и заключается

¹⁾ e-mail: yumatv@isan.msk.su

голографическая информация о форме волнового фронта. В то же время, в [3] было показано, что в реальных объемных голограммах механизм геометрооптического восстановления не работает. Это связано с тем, что механизм дифракции на поперечной (в плоскости голограммы) периодической структуре является доминирующим. На это указывает экспериментально наблюдаемое наличие дисперсии при восстановлении. Так, в простейшем случае голограммы плоских волн изменение длины волны восстанавливающего излучения приводит к изменению направления распространения восстановленного пучка по формуле решетки, при этом период решетки соответствует периоду поперечной структуры. Поскольку наблюдение восстановленного пучка возможно только при изменении длины волны в пределах полосы спектральной селективности голограммы, то существенное увеличение ее толщины делает это наблюдение для волн, заметно отличных от брэгговской, невозможным. В то же время, при брэгговском восстановлении дифракционное и геометрооптическое изображения совпадают [3]. Для наблюдения ахроматического восстановления волнового фронта нужно одновременно с увеличением толщины уменьшить количество зарегистрированных в объемной среде поверхностей интерференционных максимумов. Это может быть сделано за счет использования для регистрации ультракоротких лазерных импульсов [4,5].

Эксперимент проводился с помощью генератора фемтосекундных импульсов на основе титаната сапфира с накачкой аргоновым ионным лазером. Компенсация дисперсии за счет использования системы призм в резонаторе позволила стабильно получать на выходе генератора импульсы длительностью 30–40 фс, измеренной по автокорреляционной методике, с дифракционной расходимостью. Длина волны излучения варьировалась в пределах 780–830 нм, частота следования импульсов составляла 80 МГц со средней мощностью свыше 100 мВт. Лазерный пучок делился с помощью полупрозрачного интерференционного зеркала на два пучка, которые направлялись навстречу друг другу. Регистрирующая пластинка устанавливалась так, чтобы ее фотослой находился в области перекрытия встречных импульсов. Для точного уравнивания длин оптических путей использовалась методика работы [5]. Угол нормали к пластинке с оптической осью составлял порядка 20°. Использовались специально изготовленные фотопластинки с толщиной фотослоя от 110 до 280 мкм. Фотоэмульсия типа "ИАЭ-встречная", созданная в РИЦ "Курчатовский институт", сенсибилизировалась к длине волны 800 нм. Экспозиция подбиралась экспериментально и имела порядок десятых долей джоуля на квадратный сантиметр. На каждой фотопластинке засвечивалось несколько полей с различной экспозицией. Для контроля некоторые поля экспонировались непрерывным излучением в той же геометрии, что и импульсным. При этом использовалась возможность оперативного перевода лазера из режима генерации фемтосекундных импульсов в режим непрерывной генерации.

При обработке фотопластинок мы столкнулись с рядом проблем, связанных с большой толщиной фотослоя. Это – трудность обеспечения процесса проявления по всей толщине фотослоя, отслаивание фотоэмульсии в процессе обработки и сушки, большое светорассеяние обработанного слоя. Эти трудности были в основном преодолены путем оптимизации режима обработки. Использовались два основных способа обработки: физическое проявление в проявителе ГП-2 и проявление в фенидолметолгидрохиноновом проявителе, с последующим отбеливанием. Проявление и промывка проводились в холодиль-

нике при температуре порядка 4°C . Сушка была постепенной и на первой стадии протекала в замкнутом объеме с малым обменом воздуха. При обработке фотопластинок происходила значительная усадка фотослоя, в результате которой полоса восстановления смещалась в область длин волн порядка 600 нм. В данном диапазоне окраска бурого цвета, приобретаемая проэкспонированными участками фотослоя в результате обработки в ГП-2, не служила, в отличие от случая [5], препятствием для проникновения восстанавливающего излучения на большую глубину.

Для восстановления применялся лазер на красителе (раствор родамина 6Ж в этиленгликоле) с накачкой аргоновым лазером. Использовался непрерывный режим генерации с перестройкой длины волны излучения от 580 до 630 нм с помощью дисперсионного элемента. Восстановленный пучок света наблюдался в отражательной геометрии на диффузном экране, установленном на расстоянии порядка 4 м от фотопластинки. Спектральная селективность структуры, зарегистрированной импульсным излучением, позволяла наблюдать восстановленный пучок при плавном изменении длины волны излучения от 585 до 607 нм. При этом изменении пятно, даваемое на экране восстановленным пучком, не смещалось, то есть направление распространения восстановленного пучка не менялось. В то же время, для структуры, зарегистрированной непрерывным излучением, в тех же условиях пятно на экране смещалось на 6 см. Это доказывает, что в данном случае для структур, зарегистрированных фемтосекундными импульсами, работает не дифракционный, а геометрооптический механизм восстановления.

Таким образом, экспериментально осуществлен процесс ахроматического восстановления волнового фронта путем геометрооптического отражения восстанавливающего излучения от поверхностей постоянной разности фаз объектной и опорной волн.

Авторы выражают благодарность Р.В.Рябовой за изготовление фотоматериалов. Данные исследования стали возможны частично благодаря гранту Российского фонда фундаментальных исследований (95-02-05996) и гранту RP-2-154 CRDF США для независимых государств бывшего Советского Союза.

-
1. И.Н.Сисакян, А.М.Смолович, Письма в ЖТФ 17, 41 (1991).
 2. Ю.Н.Денисюк, Оптика и спектроскопия 18, 522 (1963).
 3. И.Н.Сисакян, А.М.Смолович, Компьютерная оптика, М.: МЦНТИ 7, 56 (1990).
 4. Ю.А.Толмачев, Оптика и спектроскопия 76, 645 (1994).
 5. Д.А.Дементьев, Ю.А.Матвеев, О.Б.Серов и др., Квант. электрон. 23, 293 (1996).