

07;12
©1995

ЗАПИСЬ ГЛУБОКИХ ТРЕХМЕРНЫХ ГОЛОГРАММ В ГЕЛЕОБРАЗНЫХ СЛОЯХ ВИХРОМИРОВАННОЙ ЖЕЛАТИНЫ

Ю.Н.Денисюк, Н.М.Ганжерли, И.А.Маурер

Глубокие трехмерные голограммы, т.е. голограммы, записанные в светочувствительных слоях с толщиной порядка миллиметров, обладают рядом уникальных свойств, которые могут быть широко использованы при создании оптических элементов в современных устройствах оптической обработки информации. Высокие значения угловой (порядка минут) и спектральной (порядка ангстрем) селективности позволяют создать мультиплексоры и демультимплексоры для ввода излучения различных длин волн в стекловолоконные линии связи, усилители угла отклонения в сканирующих устройствах и многие другие элементы. На использовании свойств глубокой трехмерной записи основан также предложенный нами ранее метод так называемых безопорных селектограмм, позволяющий записать и воспроизвести трехмерные изображения объектов без помощи референтной волны [1].

Осуществлению всех упомянутых возможностей существенно препятствуют трудности, сопровождающие изготовление и использование толстослойных светочувствительных материалов. В частности, фоторефрактивные кристаллы, широко применяемые в настоящее время для записи глубоких голограмм, весьма дороги и фактически не могут быть использованы при создании оптических элементов, так как запись в таких кристаллах носит динамический характер, в результате чего голограмма либо сама деградирует в течение короткого времени, либо стирается считывающим излучением.

Полимерный светочувствительный материал реаксан, который был специально разработан для записи оптических элементов, также весьма неудобен в обращении [2]. В частности, трехмерная голограмма, записанная в таком материале, также, хотя и медленно, но деградирует во времени. Кроме того, для очувствления материала реаксан его необходимо в течение нескольких дней держать в атмосфере сжатого кислорода. В результате оказывается, что и этот материал может быть использован только на стадии исследований свойств глубокой записи.

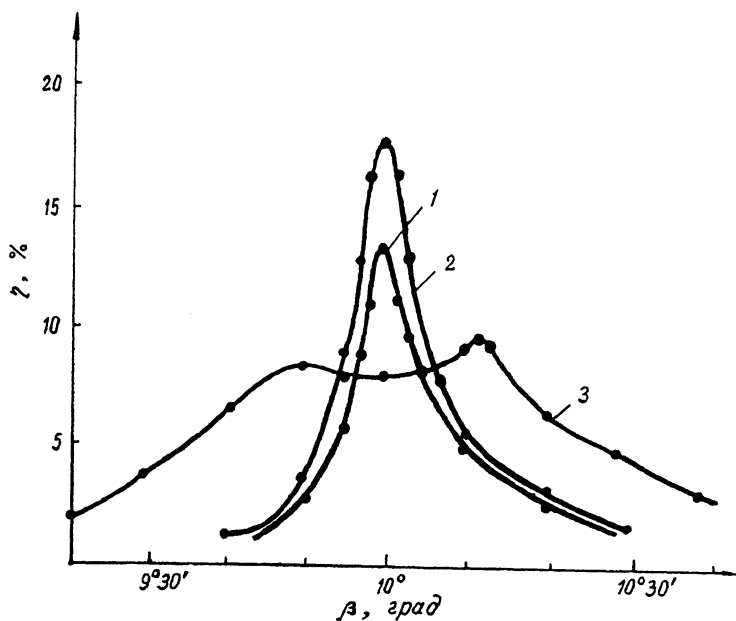
Ниже приведены результаты проведенных нами экспериментов по созданию толстослойного светочувствительного материала на основе гелеобразной бихромированной желатины.

В общих чертах технология изготовления этого материала отчасти совпадает с широко известной технологией изготовления слоев бихромированной желатины, предназначенных для регистрации голограмм [3]. Существенное отличие заключается в том, что нанесенный слой жидкой бихромированной желатины после студения не подвергается сушке, при которой толщина слоя уменьшается в 10–15 раз. Регистрация голограммы осуществляется непосредственно на напитанном влагой слое, который защищен от высыхания покровным стеклом или полимерной пленкой. Сам слой представляет собой достаточно плотный гель, в котором голограмма записывается с таким же успехом, как и в твердом материале.

Более подробно метод приготовления гелеобразной бихромированной желатины сводился к следующему: готовился 6%-й раствор желатины, в котором был растворен бихромат аммония $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ в количестве, равном 5% от веса сухой желатины. Соотношение весов желатины, бихромата аммония и воды рекомендовано нам С.Б.Соболевой. Жидкий раствор желатины поливался на стеклянную подложку при температуре 40°C. Полученные слои толщиной от 1 до 3.5 мм покрывались стеклом или майларовой пленкой и затем студились в холодильнике.

Основные голографические параметры полученных слоев определялись посредством регистрации голограмм двух плоских волн, сформированных из излучения гелий-кадмиевого лазера ($\lambda = 0.44$ мкм) мощностью 16 мВт. Интерферирующие пучки распространялись симметрично относительно нормали к поверхности слоя, угол схождения пучков α был равен 14°. Диаметр экспонируемого пятна был порядка 10 мм.

Перекрывая периодически один из интерферирующих пучков и измеряя интенсивность пучка, восстановленного зарегистрированной голограммой, можно было измерять зависимость ее дифракционной эффективности от экспозиции. Фактически восстановленная волна возникала в первые же секунды записи. Время экспозиции, при котором достигалась дифракционная эффективность, близкая к максимальной, составляло, например, для слоев толщиной 2 мм порядка 30 мин. Учитывая упомянутые параметры экспонирующего излучения, голографическую чувствительность данного материала можно оценить равной порядка 10 Дж/см², что достаточно близко, например, к чувствительности материала реаксан. Следует отметить, что сам факт того, что



Угловая зависимость дифракционной эффективности голограммы, зарегистрированной на слое гелеобразной желатины толщиной 2 мм при считывании излучением гелий-неонового лазера спустя различное время после записи:

1 — 30 мин, 2 — 3 ч, 3 — 24 ч.

напитанные водой гелеобразные слои бихромированной желатины обладают светочувствительностью, был весьма неожиданным, так как известно, что сухие слои бихромированной желатины должны экспонироваться в очень сухой атмосфере.

На рисунке представлены результаты измерения угловой селективности полученных таким образом голограмм, т.е. зависимость дифракционной эффективности голограмм η от угла падения считывающего луча β . Считывание осуществлялось излучением гелий-неонового лазера ($\lambda = 0.63$ мкм). Угол Брегга был равен 10° . Кривая 1 соответствует случаю, когда голограмма с толщиной слоя 2 мм считывается через 30 мин после записи. Кривые 2 и 3 относятся к случаям считывания той же голограммы через 3 и 24 ч после записи соответственно.

Как видно из рисунка, дифракционная эффективность записанных нами голограмм достаточно высока и достигает 17%. Характерным является то, что в течение нескольких первых часов после экспозиции дифракционная эффективность голограмм несколько возросла, по-видимому, в свя-

зи с какими-то структурными перестройками внутри слоя, однако в дальнейшем, как это видно из кривой 3, эти перестройки приводят к разрушению голограммы.

Угловая селективность записанных нами голограмм была весьма высока, в частности в рассмотренном случае в первые часы после записи она составляла порядка 10 мин на полувысоте кривой селективности (см. кривые 1 и 2). Как видно из кривой 3, разрушение голограммы ведет не только к уменьшению ее дифракционной эффективности, но и к значительному ухудшению угловой селективности записи.

Оценим соответствие экспериментальных значений угловой селективности голограмм ее теоретическому значению. В работе [4] в приближении, действительном для малых значений дифракционной эффективности, было получено простое выражение для зависимости угловой селективности глубокой голограммы $\Delta\alpha$ от ее толщины d и угла схождения лучей α , при котором осуществляем брэгговское считывание:

$$\Delta\alpha \cong \frac{\lambda}{\alpha d}.$$

Подставляя в данное выражение значения $\lambda = 0.63$ мкм, $\Delta\alpha = 10' = 0.0029$ рад, $\alpha = 20^\circ = 0.35$ рад, найдем, что эффективная толщина голограммы d равна 630 мкм. Учитывая приближенный характер использованных нами оценок экспериментальных значений угловой селективности голограмм, а также выражения для угловой селективности глубокой голограммы, соответствие экспериментальных и теоретических величин следует признать удовлетворительным.

Нет никакого сомнения в том, что дифракционная эффективность голограмм на слоях гелеобразной желатины и время их хранения могут быть существенно повышены в результате работ по оптимизации технологии. Повышение значения светочувствительности слоя, а также увеличение времени его хранения до величин, приемлемых для практических приложений, является более сложной задачей. Однако уже в том виде, в котором материал представлен в данной публикации, он вполне пригоден для широкого использования при проведении научных исследований в области свойств глубоких голограмм и определения перспектив их практических приложений.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 96-02-03887), а также Международного Фонда Сороса (грант NU 4000).

Список литературы

- [1] Денисюк Ю.Н. // Письма в ЖТФ. 1995. Т. 21. В. 2. С. 51-57.
- [2] Лешков Г.И., Сузанов В.И. // Опт. и спектр. 1978. Т. 44. В. 5. С. 1008-1015.
- [3] Shankoff T.A. // Appl. Opt. 1968. V. 7. N 10. P. 2101-2105.
- [4] Денисюк Ю.Н. // ЖТФ. 1990. Т. 60. В. 6. С. 59-66.

Физико-технический институт
им. А.Ф.Иоффе РАН
Санкт-Петербург

Поступило в Редакцию
30 мая 1995 г.
