

МАТЕРИАЛЫ

Международной научной конференции «Технологии и перспективы современного инженерного образования, науки и производства», посвященной 45-летию организации Фрунзенского политехнического института — Кыргызского технического университета им. И. Раззакова

(7-8 октября 1999 г.)

МАТЕМАТИКА, ФИЗИКА, МЕХАНИКА

Уд. сек
20.05.21.640
Кузманов
З. Т

БИШКЕК 1999

Юппе
Ур
30.05.21.



ОСОБЕННОСТИ МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИЯ ГОЛОГРАММ В ТРЕХМЕРНЫХ ФАЗОВЫХ ФОТОПОЛИМЕРИЗУЮЩИХСЯ НОСИТЕЛЯХ

К.М. Жумаев, А.А. Сагымбаев, И.А. Ахказиев,
Ж. Абакирова, А.Т. Токонов, А.М. Адамбаев, КТУ, Бишкек

Ужесточение требований к плотности хранимой информации в системах памяти заставило исследователей и разработчиков таких систем вновь обратиться к голографическим запоминающим устройствам (ГЗУ). Оптическая битовая память в компакт-дисках (КД) достигает уже предельных для нее плотностей хранимой информации и для того, чтобы удовлетворить повышенным требованиям к плотности, в настоящее время имеется только одна возможность - обратиться к ГЗУ с трехмерным хранением информации [1-6].

В данной статье рассмотрен традиционный способ записи мультиплексированных трехмерных фазовых голограмм.

Фотополимеризующиеся материалы (ФПМ) являются разновидностью органических светочувствительных сред. Под действием света в них происходит полимеризация исходного мономера, которая приводит к увеличению показателя преломления материала [7].

В качестве модели принята запись голографической дифракционной решетки двух плоских волновых фронтов, один из которых падает нормально в среде. К сожалению, большинство экспериментальных работ по ориентационной чувствительности регистрирующих сред исследуют неисклонные голографические решетки [3,9], что усложняет, а зачастую и делает невозможным полное использование преимуществ трехмерных сред.

Регистрация мультиплексированных голограмм в фотополимеризующейся среде осуществлялась с помощью голографической установки, собранной по схеме Лейта-Упатниекса, позволяющей изменять угол между опорным и предметным пучками, осуществлять коническую развертку опорного пучка, и поворот регистрирующей среды вокруг нормали точки мультиплексирования и наблюдать динамику изменения дифракционной эффективности восстановленных реплик, начиная с $\eta_0 > 0,01\%$. Дифракционная эффективность (без учета отражений) определялась как отношение интенсивности света, дифрагированного в минус первый порядок, к интенсивности света, падающего на образец $\eta_i = (I_{\text{диф}} / I_{\text{пад}}) \times 100\%$, $i=1$ соответствует свету с длиной волны $\lambda=488$ нм, $i=2$ - свету с длиной волны $\lambda=632,8$ нм.

Мультиплексированные голограммы записывались излучением аргонового лазера ЛГН-503 ($\lambda=488$ нм) следующими способами: изменением угла между опорным и предметным пучками, конической разверткой опорного пучка

и углом регистрации среды вокруг нормали точки мультиплексирования.

Для удобства анализа особенностей мультиплексирования голограмм применим сферическую систему координат, поместив регистрирующую среду в плоскости XOY , а источник реконструирующего волнового фронта - в точку $M(x, y, z)$. В случае плоского опорного фронта, принятого нами, достаточно знать значения углов θ и φ . Таким образом, изучение угловой чувствительности среды разбивается на выяснение двух зависимостей относительной дифракционной эффективности η/η_0 : зависимости $\eta/\eta_0 = f(\theta)$ при $\varphi = \text{const}$, которая зависит от угловой чувствительности среды, и $\eta/\eta_0 = f(\varphi)$ при $\theta = \text{const}$, называемой азимутальной чувствительностью, где η_0 - максимальное значение дифракционной эффективности голограммы; η - ее изменяющееся значение.

Мультиплексирование голограмм с изменением угла между опорным и сигнальным пучками реализуется следующим образом: пучок возбуждающего света $\lambda = 488$ нм разделяется на два эквивалентных компонента - пучки R_1 и S_1 ($I_0 = 1,5$ мВт/см²) - при падении по нормали к регистрирующей среде - R_1 и S_1 углом θ_{01} относительно нормали плоскости регистрирующей среды - S_1 . Мультиплексированные голограммы зависелись с изменением угла θ_{01} - от 15° до 70° , т.е. при экспериментальном исследовании угловой чувствительности; угол θ_{01} изменялся в диапазоне от 15° до 70° . Нижний предел обусловлен апертурой предметного пучка при записи фурье-голограмм, верхний - значительными потерями света на отражение от поверхности регистрирующей среды при мультиплексировании.

Угловую чувствительность регистрирующей среды удобно характеризовать величиной $\xi = \Delta\theta_{01}/\Delta$, которую назовем угловой селективностью, где $\Delta\theta_{01}$ - угол, на который опирается кривая $\eta/\eta_0 = f(\theta_{01})$ при $\eta/\eta_0 = M$. Выбор M произволен и зависит от целей использования голографической записи.

На рис. 1 приведена зависимость $\xi = f(\theta_{01})$ при $M = 0,65$. Анализируя эту зависимость, можно сделать вывод, что с увеличением угла записи θ_{01} угловая селективность фотополупроводникового материала Orsil Dex 352 улучшается (величина ξ падает), однако начиная с $\theta_{01} = 30^\circ$, она остается приблизительно постоянной и равной 9° . Следовательно, в диапазоне рабочих углов записи $\Delta\theta_{01} = \theta_{01\max} - \theta_{01\min}$, где $\theta_{01\max}$ и $\theta_{01\min}$ - крайние значения диапазона. На одном и том же объекте среды можно записывать $N_g = 2h(\Delta\theta_{01}/\xi) + 1$ независимых голограмм с минимальным уровнем перекрестных помех, равным M . Символ h означает целую часть дроби, а число "2" показывает возможность записи мультиплексированных голограмм с двух сторон от сигнального пучка. Уровень перекрестных помех можно при необходимости уменьшить, но при этом число независимых голограмм также уменьшится.

При $15^\circ < \alpha_{\text{в}} < 70^\circ$ экспериментальные результаты (рис.1) хорошо согласуются с рассчитанными по теории Х. Когельника /10/ данными, что позволяет распространить эту теорию на исследование азимутальной чувствительности

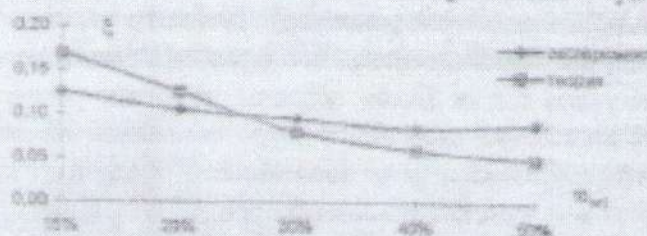


Рис.1. Зависимость угловой чувствительности от угла между опорным и предметным пучками

Теперь проанализируем особенности мультиплексирования голограмм толстослойной регистрирующей среде, когда опорный пучок перемещается в образующей конуса относительно нормали к поверхности среды.

Мультиплексирование голограмм при конической развертке опорной волны также реализуется путем разделения пучка возбуждающего света $\lambda=488$ нм на два эквивалентных компонента - R_1 и S_1 . Мультиплексированные голограммы записываются с изменением угла φ , т.е. при экспериментальном исследовании азимутальной чувствительности угол φ изменялся в диапазоне от 0 до 360° . При конической развертке опорной волны происходит изменение угла скольжения на величину $\delta = \theta_0 - \theta$ и, следовательно, дифракционная эффективность η падает.

Значение δ , согласно /6/, определяется как функция условий записи голографической решетки, т.е. углов θ_0 и ψ , и условий восстановления, т.е. угла φ :

$$\delta = \theta_0 - \arcsin \{ [\cos(\psi - \theta_0) \cos \varphi - \sin(\psi - \theta_0) \operatorname{ctg} \psi / \sin \varphi] \}. \quad (1)$$

Введем, согласно Х. Когельнику /10/, параметры ξ и ν :

$$\xi = \pi \delta d K \sin(\psi - \theta_0) / c_s, \quad (2)$$

который характеризует отклонение условий восстановления от условий регистрации голографической решетки, где K - угловая пространственная частота, и

$$\nu = \pi n_1 d / \lambda \sqrt{C_s C_\kappa}, \quad \approx \pi n_1 d / \lambda \cos \theta_0, \quad (3)$$

учитывающий свойства регистрирующей среды.

$$\text{Здесь } C_s = \cos \theta - K / \beta \cos \psi; \quad C_\kappa = \cos \theta; \quad \beta = 2\pi n / \lambda, \quad (4)$$

где d - толщина регистрирующей среды; λ - длина восстанавливающей волны; n - коэффициент модуляции показателя преломления.

По аналогии с угловой чувствительностью введем понятие азимутальной чувствительности χ , численно равной углу φ_χ , при котором значение η/η_0 падает до уровня Φ . Геометрический предел числа мультиплексированных записей в выбранном объеме регистрирующей среды определяется минимальным

минимум азимутального угла $\Delta\varphi_{\min}$ от записи к записи, при котором каждая из восстановленных голограмм не набегает на соседние. Для коллимированного предметного пучка и транспаранта, расположенного перед фурье-объективом, $\Delta\varphi_{\min}$ определяется из выражения:

$$\Delta\varphi_{\min} = 2\arcsin [D / 2f \sin \varphi_1], \quad (5)$$

где D - диагональ транспаранта; f - фокусное расстояние фурье-объектива; φ_1 - угол выставления при отсутствии усадки регистрирующей среды.

Если число мультиплексированных голограмм при азимутальной разбивке опорного пучка определяется $N_0 = (2\pi - \varphi_1) / \varphi_1$, то общее число мультиплексированных голограмм в данном объеме регистрирующей среды для исследуемой схемы с нормальным предметным пучком определится выражением:

$$N = (2h(\Delta\varphi_1/\xi) + 1) / (2\pi - \varphi_1) \varphi_1. \quad (6)$$

Как известно, дифракционная эффективность зависит от угла Ω между направлениями поляризации пучков. Здесь под направлением и плоскостью поляризации понимают соответственно направление электрического вектора и плоскость, в которой находится электрический и волновой векторы $1/b$. Лазерное излучение, как правило, поляризовано, и добиться оптимальной ДЭ за счет изменения условия $\cos\Omega = 1$ нетрудно.

Однако, при мультиплексировании голограмм путем конической разбивки опорного пучка это условие не соблюдается, так как возникает нежелательная поляризация между интерферируемыми пучками и угол Ω изменяется в диапазоне $\Omega = \varphi_1 \pm \varphi_2$. Следовательно, в вышеизложенном способе мультиплексирования голограмм, ДЭ восстановленной голограммы принимает максимальную величину при $\varphi = 0$ и 180° , минимальную - при $\varphi = 90^\circ$ и 270° . При получении голограммы, если пучки пересекаются под прямым углом $\cos\Omega = 0$, в следовательно, ДЭ равна нулю.

Рассмотрим теперь частный случай мультиплексирования голограмм, когда падающие пучки R_1 и S_1 падают под углами φ_{R1} и φ_{S1} симметрично относительно нормали к плоскости регистрирующей среды, а сама регистрирующая среда поворачивается вокруг точки записи.

В общем случае, мультиплексирование голограмм путем вращения регистрирующей среды реализуется следующим образом: углы φ_{R1} и φ_{S1} не меняются, а сама регистрирующая среда азимутально вращается на угол, равный углу эффективности регистрирующей среды относительно нормали точки записи в пределах от $0-360^\circ$, то есть в каждый момент мультиплексирования регистрирующая среда поворачивается на угол $\Delta\gamma_{\min}$. Количество записи мультиплексированных голограмм для этого случая определяется с помощью следующего выражения:

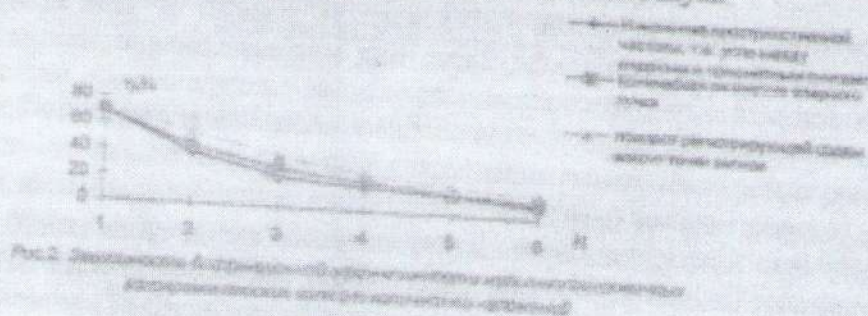
$$N_\gamma = (180^\circ - \Delta\gamma_{\min}) / \Delta\gamma_{\min} \quad (7)$$

где $\Delta\gamma_{\text{min}}$ - угол селективности регистрирующей среды, при котором восстанавливаемые голографические решетки не накладываются друг на друга.

При этом общее число мультиплексированных голограмм в данном объеме регистрирующей среды для исследуемой схемы, когда записывающие пучки падают симметрично относительно нормали, определится выражением:

$$N = (2\gamma_{\text{max}}/\Delta\gamma_{\text{min}} + 1)(180^\circ - \Delta\gamma_{\text{min}}) / \Delta\gamma_{\text{min}}. \quad (6)$$

Для экспериментального исследования отношения сигнал/шум использована методика, предложенная в [11]. В результате эксперимента установлена зависимость дифракционной эффективности от количества мультиплексирования (рис.2). С увеличением количества мультиплексирования уменьшается дифракционная эффективность и отношение сигнал/шум.



На основе проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- увеличение толщины ОБИМ приводит к расфокусировке записывающих пучков, т.е. к увеличению ширины голограмм. Следствием этого будет снижение плотности записи голограмм, так как перекрытие голограмм приводит к уменьшению отношения сигнал/шум;
- на плотность записи влияют и aberrации, возникающие в восстановленном изображении при различных длин волн записи и считывания;
- приведенная методика исследования избирательности чистоты голограмм плоских волн, записанных в объемных средах, и полученные экспериментальные данные позволяют выбирать геометрические параметры схемы мультиплексирования голограмм для создания сверхплотной и ассоциативной памяти на основе трехмерных голограмм с глубокой записью;
- в фотополимеризуемой среде Optal Dex[®] фирмы Du Pont могут быть записаны мультиплексированные голограммы по предложенной методике, что позволяет повысить на порядок плотность информации; и кроме того, данная среда может быть применена как постоянный оптический накопитель информации.

Библиографический список

1. Денисюк Ю.Н. Об отображении оптических свойств объекта в волновом поле рассеянного им излучения. // ДАН СССР, 1962, т.144, вып.6. -С.1275.
2. Денисюк Ю.Н. Об отображении оптических свойств объекта в волновом поле рассеянного им излучения. //Опт. и спектр.,1963, т.15. -С.522.
3. Kogelnik H. Holographic image projection through inhomogeneous media.- Bell. Syst. Techn. J., 1965, v. 44. - P.2451.
4. Денисюк Ю.Н. Об отображении оптических свойств объекта в волновом поле рассеянного им излучения, II. -Опт. и спектр.,1965, т.18. -С.276.
5. Van Heerde P. J. Theory of optical information storage in solids.- Appl. Opt., 1963, v.2, №4. -P.393.
6. Гинер Р., Беркхард Х., Ланг Л. Оптическая голография. -М., Наука, Мир, 1973.
7. Weber A.M., Smothers W.K., Trank T.L., Miskish D.J. Hologram recording in DuPont's new photopolymer materials // Proc. SPIE. -1990. V. 1212. -P. 30-39.
8. Азиев А.А., Жумалиев К.М., Сагымбаев А.А., Сагынбаев Д.А. и др. // Оптический журнал, №4, 1998. -С.34.
9. Азиев А.А., Майоров С.А. // Когерентные вычислительные машины. -Л., Машиностроение, 1977. -С.430.
10. Kogelnik H. Coupled wave theory for thick hologram gratings. - Bell. Syst. Techn. J., 1969, v. 48, №9. -P.2922.
11. Жумалиев К.М., Сагымбаев А.А., Сагынбаев Д.А. // Наука и новые технологии. №3, 1997. -С.5.

УВЕЛИЧЕНИЕ ГОЛОГРАММ В ОБЪЕМНОЙ РЕГИСТРИРУЮЩЕЙ СРЕДЕ ФИРМЫ DU PONT

К.М. Жумалиев, Д.А. Сагынбаев, И.А. Акказиев,
А.Т. Токонов, К.А. Сагымбаева, С.Ы. Алтыбаев, КТУ, Бишкек

Фотополимеризующиеся материалы (ФПМ) являются разновидностью органических светочувствительных сред. Под действием света в них происходит радикальная полимеризация исходного мономера, которая приводит к увеличению показателя преломления материала /1,2,6,8/.

Эффект СУ голограмм в ФПМ фирмы Du Pont исследован нами в /3,4/. Настоящая работа посвящена продолжению и обобщению исследований.

По механизмам и внешнему проявлению различаются: когерентное СУ, обусловленное продолжением голографической записи дифрагированными в разных порядках когерентными световыми пучками; некогерентное СУ, обусловленное в основном увеличением контраста голограммы при облучении некогерентными световыми пучками и термостимулируемыми процессами.

14. Метод криволинейных сеток в механике твердых тел. <i>Жадрасинов Н.Т. КартУ, Караганда, Респ.Казахстан</i>	52
15. Исследование влияний различных помех на устройство оптимального различителя сложных сигналов. <i>Жайлобаев Н. ЖАГУ, Джалал-Абад</i>	56
16. Ортогональная ассоциативная память, основанная на алгоритме обратного функционирования. <i>Жэзбеков А.А., Эсенгельдиев Ч.Э., Сарыбаева А.А. КРСУ, КТУ, Бишкек</i> ...	61
17. Особенности мультиплексирования голограмм в трехмерных фазовых фотополемизующихся носителях. <i>Жумалиев К.М., Сагымбаев А.А., Акжигиев И.А., Абакирова Ж., Токонов А.Т., Абжанбаев А.Н. КТУ, Бишкек</i> ...	66
18. Самоусиление голограмм в объемной регистрирующей среде фирмы DU PONT. <i>Жумалиев К.М., Сагымбаев А.А. Акжигиев И.А., Токонов А.Т., Сагымбаев С.Ы., Ахтыбаев С.Ы. КТУ, Бишкек</i>	71
19. Определение диэлектрической проницаемости смеси по максимуму числа состояний системы с равными диэлектрическими проницаемос- тями. <i>Исанова Э.Б., Саткркулов К.А. КТУ, Бишкек</i>	77
20. Исследование механизмов спекания сферических порошков высоко- легированных сталей. <i>Касымов Н.К. КТУ, Бишкек</i>	86
21. Многоканальный голографический интерферометр. <i>Исмаилов Ю.Х. КТУ, Бишкек</i>	91
22. Спектры ЭПР ионов меди и их изменение под действием рентгенов- ского облучения. <i>Кудабая К.К., Эсенгельдиев Ч.Э. КТУ, Бишкек</i>	95
23. Аналитическое моделирование влияния внешних воздействий на стоковые характеристики МДП-транзисторов. <i>Манжикова С.Ц., Михеева Н.Н. КРСУ, КТУ, Бишкек</i>	98
24. Теоретические основы электрохимической эмиссии электронов <i>Мокрышев А.И. Мукажанов В.Н., Харин С.Н. АНЭС, Алматы, Респ.Казахстан</i>	103
25. Изучение физико-химических процессов, протекающих при термообра- ботке в золоситалловой шихте. <i>Сатаркулов К.А., Катыров Ч.А., Мукамбаев К.М., Боркеев Б.М., Абдыраимов Н.Н. КТУ, КГНУ, Бишкек</i> ...	108
26. Определение объема трека рентгеновских фотонов по реакции вос- становления F-центров в нитридных кристаллах KBr. <i>Турсунбаев К.Т., Турсунбаев Н.А. КТУ, Бишкек</i>	111
27. Усовершенствование коронно-электростатических барабанных сепараторов. <i>Султисенов О.А., Коргоубеков Ж.А., Калкмишев Е.А. ТартУ, Тараз, Респ.Казахстан</i>	114