

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

БИШКЕК 1999

Уп. сен
005.21.640

Курияев
У. 1

Копия верна
УК



Библиографический список

1. Денисюк Ю.Н. Об отображении оптических свойств объекта в волновом поле рассеянного им излучения. - ДАН СССР, 1963, 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, л. 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 Heerden P. J. Theory of optical information storage in solids. - Appl. Opt., 1963, v. 2, №4. - P. 393.
6. Каллер Р., Беркхарт Х., Липп А. Оптическая голография. - М., Наука, Мир, 1973.
7. Weber A.M., Smothers W.K., Trost T.J., Miskian D.J. Hologram recording in DuPont's new photopolymer materials // Proc. SPIE. - 1990. V. 1212. - P. 30-39.
8. Акжол А.А., Жумалиев К.М., Сагымбаев А.А., Сагымбаев Д.А. и др. // Оптический журнал. №4, 1998. - С.34.
9. Акжол А.А., Майоров С.А. // Когерентные вычислительные машины. - Л., Машиностроение, 1977. - С.450.
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., Сагымбаев Д.А. // Наука и новые технологии. №3, 1997. - С.5.

САМОУСИЛИЛИЕ ГОЛОГРАММ В ОБЪЕМНОЙ РЕГИСТРИРУЮЩЕЙ СРЕДЕ ФИРМЫ DU PONT

К.М. Жумалиев, Д.А. Сагымбаев, И.А. Акжолдиев,
А.Т. Токонов, К.А. Сагымбаева, С.И. Аалтыбаев, КТЗ, 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]. Настоящая работа посвящена продолжению и обобщению исследований.

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

Эксперименты по когерентному и некогерентному СУ галогенным осуще-
ствлялись с помощью голографической установки, собранной по обычной
симметричной двухлучевой схеме. В основном исследовалось СУ прозрачных
голографических решеток с периодом $\Lambda = 0,35-30$ мкм и фотополимери-
зующейся средой: Оптик Бок 352 с толщиной $d = 25$ мкм при длине и возбуждении
СУ аргоновым лазером ($\lambda = 488$ нм) со средней интенсивностью света $I_0 = 0,5-1,5$
мВт/см².

Рассмотрим случай, когда фотополимеризующийся слой экспонируется в
интерференционном поле двух лазерных пучков. Будем предполагать, что из-
менение интенсивности пучков по глубине фотополимеризующегося слоя не-
значительно. Запишем поле интенсивностей в фотополимеризующем слое в ви-
де

$$I = I_0 [1 + m \cos(2\pi x / \Lambda)], \quad (1)$$

где $I_0 = I_1 + I_2$ - суммарная интенсивность пучков;

$m = 2\sqrt{I_1 I_2} / (I_1 + I_2)$ - контраст интерференционной картины;

Λ - период записываемой решетки. Когерентное возбуждение СУ произ-
водилось при $\theta = \theta_0$ (θ_0 - угол Брэгга). Одновременно с экспонированием реше-
тующего слоя, с помощью гелий-неонового лазера ЛГН-215 ($\lambda = 632,8$ нм) под
углом Брэгга θ_0 велось зондирование дифракционных решеток и наблюдение за
динамикой дифракционной эффективности D . В ходе эксперимента произво-
дилась запись десяти решеток на соседних участках материала, и во взаимоис-
ключаемых случаях осуществлялся статистический анализ измеряемых величин. В
экспериментах исследовались динамика самоусиления - зависимость дифрак-
ционной эффективности (D) от времени при различной интенсивности записи
входящих пучков I_0 и периода голографической решетки Λ .

Динамика изменения ДЭ в процессе формирования голограмм (рис. 1) за-
висит от интенсивности записываемых пучков. При большей интенсивности
записываемых пучков, когда скорость полимеризации превышает скорость
диффузионного массопереноса, дифракционная эффективность сначала возрас-
тает, после окончания записи голограмм - падает до нуля в результате проте-
кающих диффузионных массопереносов, а затем после завершения последнего
процесса снова начинает увеличиваться до эффективности, близкой к исход-
ной. По-видимому, максимальная светочувствительность ОПМ достигается в
случае, когда скорость диффузионного массопереноса превышает скорости по-
лимеризации. При этом скорость голографической записи определяется скоро-
стью полимеризации и может быть увеличена выбором инициирующей систе-
мы и другими известными методами.

Поскольку целью работы являются как исследование механизма само-
усиления, так и оптимизация данного режима для получения голограмм с мак-
симальной ДЭ, то проводился выбор рабочей точки явления в указанном режон-

обеспечивающей достижение максимального значения ДЭ голограмм в результате их темного СУ. На рис. 2 представлена зависимость предельно достигнутого стационарного значения $\eta = \eta_{\text{ст}}$ от времени сенсибилизации однородным УФ полем. В качестве источника использовалась УФ лампа с мощностью 10 Вт. Видно, что максимальная чувствительность при $t_s = 30$ с. Снижение ДЭ в области больших экспозиций связано, по-видимому, с потерей чувствительности из-за полимеризации мономеров. Низкие ДЭ в области малых экспозиций из-за сенсибилизации связаны, по-видимому, с низкой светочувствительностью материала.

При брэгговском считывании голограмм с милой исходной дифракционной эффективностью η_0 одним из записывающих пучков наблюдается возмущение во ДЭ $\eta(t)$. На рис. 3 представлены характерные динамические кривые $\eta = \eta(t)$ при $\eta_0 = \cos \pi$ (двухлучевая запись, в данном случае прерывалась при $\eta = 1,5\%$ для $\lambda_s = 632,8$ нм).

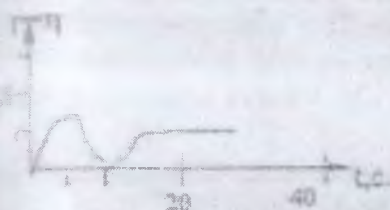


Рис. 1. Динамическое изменение ДЭ (отн. ед.) в процессе формирования голограммы

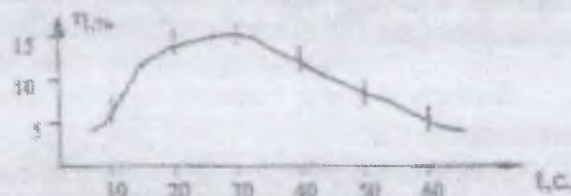


Рис. 2. Зависимость ДЭ при темном СУ от времени при сенсибилизации некаверновым однородным световым полем

При облучении решетки одним из записывающих пучков наблюдается монотонный рост $\eta(t)$ с выходом на стационарное значение. Этот процесс, характеризующий СУ ДЭ, может быть описан коэффициентом

$$\xi_{\text{ст}} = \eta_{\text{ст}} / \eta_0, \quad (2)$$

где $\eta_{\text{ст}}$ - конечное стационарное значение ДЭ,

η_0 - начальное значение ДЭ.

Этот коэффициент может быть определен как коэффициент самоусиления. Установление стационарного значения $\eta_{\text{ст}}$ связано с завершением процесса записи. Наблюдалось симметричное СУ голограмм для обеих симметричных брэгговских пучков. При этом наблюдалось отклонение максимума восстановленного сигнала на некоторый угол в направлении увеличения угла падения считывающего луча. Это отклонение компенсируется с поворотом образца на угол $-0,5^\circ$.

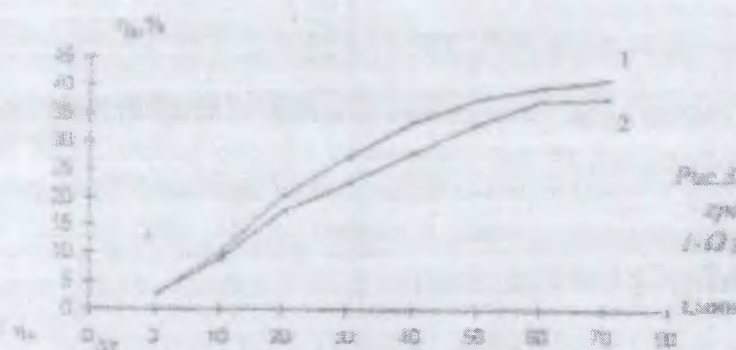


Рис. 3. Динамические кривые коэффициента самовозбуждения
1- $Q = 2400 \text{ мин}^{-1}$; 2- $Q = 1500 \text{ мин}^{-1}$

В связи с этим, помимо коэффициента СУ, введен скорректированный коэффициент СУ

$$\xi_{\text{ис}} = \eta_{\text{ис}} / \eta_0 \quad (3)$$

В ходе эксперимента ДЭ гелеграфической решетки измерялась на длине волны 632,8 нм, а для 488 нм пересчитывалась по формуле [8]:

$$\eta_{0,48} = \eta_0^2 \left[\left(\lambda_2 / \lambda_1 \right) \arcsin \left(\sqrt{\eta_{0,63}} \right) \sqrt{\left(n^2 - \sin^2 \theta_1 \right) / \left(n^2 - \sin^2 \theta_2 \right)} \right] \quad (4)$$

где θ_1, θ_2 — углы падения (в воздухе) для $\lambda_1 = 488 \text{ нм}$ и $\lambda_2 = 632,8 \text{ нм}$ соответственно; n — средний показатель преломления (дисперсия не учитывается). Величина n вычислялась из зависимости $\eta_{0,63}(t)$ по формуле

$$n(t) = \frac{\lambda \cos \theta}{\pi d} \arcsin \sqrt{\eta_{0,63}(t)} \quad (5)$$

где d — толщина решетки.

После завершения реакции полимеризации ДЭ усиленной решетки может быть измерена на длинах волн 488 и 632,8 нм. Поэтому конечная и скорректированная ДЭ измерялись на обеих длинах волн и были в хорошем согласии с (4). На рис. 4 приведены величины коэффициентов самовозбуждения $\xi_{\text{ис}}(a)$ и $\xi_{\text{ис}}(b)$.

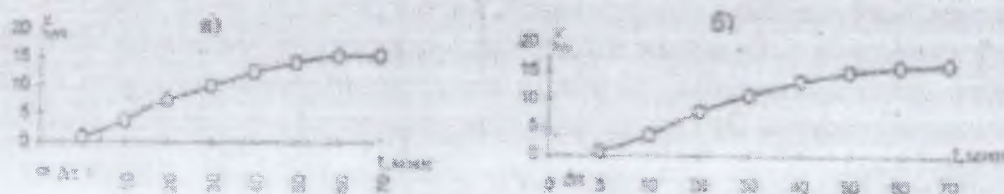


Рис. 4. Динамические кривые скорректированного коэффициента самовозбуждения $\xi_{\text{ис}}(a)$ и $\xi_{\text{ис}}(b)$ со временем для $\lambda = 632,8 \text{ нм}$.

видно, что коэффициенты усиления $E_{\text{дн}}$ и $E_{\text{дл}}$ монотонно увеличиваются с углом. Максимальный коэффициент усиления для исследуемого материала, найденный экспериментально, составил 16,5. Скорректированная дифракционная эффективность при этом достигала около 41 %.

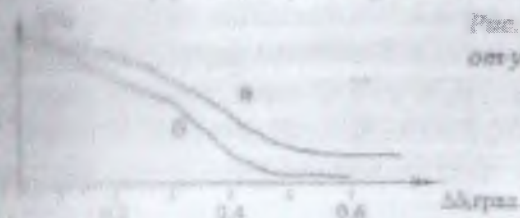


Рис. 5. Зависимость относительной ДЭ решетки от угла отклонения восстановленного луча:

- а) до усиления решетки;
б) после усиления решетки.

На рис. 5 представлены характеристики угловой селективности решетки в исследуемом материале при формировании джоуля пучками до (а) и после (б) усиления при деструктивном считывании на длине волны 632,8 нм. На рис. 6 показаны характеристики угловой селективности усиленной дифракционной решетки, достигая около 40% на длинах волн 488 нм и 632,8 нм.

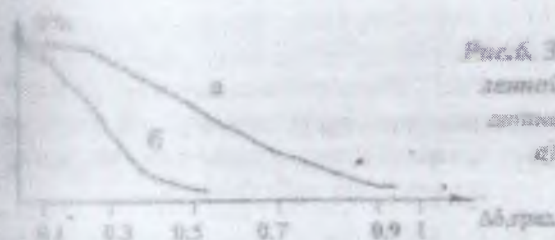


Рис. 6. Зависимость относительной ДЭ усиленной решетки от угла отклонения восстановленного луча при длине волн:

- а) 488 нм; б) 632,8 нм.

Некоторые наблюдаемые закономерности сложения можно интерпретировать на основе дополнительных голографических решеток, предложенных в [10]. Дополнительные решетки формируются дифрагированными волнами восстановительными модами исходной голографической решетки. Приблизительно можно считать связанными волнами Когельника [7]. Благодаря интерференции между волнами нулевых и минус первых порядков дифракции введет-ся отражения образуются три голографические решетки одной пространственной частоты (рис. 7). Согласно Когельнику [7] и Коварзнику [9]

$$2R_0 S_0 \cos \frac{4\pi}{\lambda} x \sin \theta_0, \quad (6) \quad 2R_0 R_{-1} \cos \left(\frac{4\pi}{\lambda} x \sin \theta - \frac{\pi}{2} + \psi \right), \quad (7)$$

$$2R_0 S_{-1} \cos \left(\frac{4\pi}{\lambda} x \sin \theta + \frac{\pi}{2} + \psi \right). \quad (8)$$

Величина ψ характеризует сдвиг решетки в динамическом процессе записи. При $I_d > I_s$ $\psi = +\delta$; при $I_d = I_s$ $\psi = 0$ и при $I_d < I_s$ $\psi = -\delta$. Величина δ определяет поворот голографической решетки в процессе записи пропускающих голограмм или изменением периода в процессе записи отражательных голограмм и пропорциональна экспозиции ($\delta \sim It$).

Каждую из этих решеток можно представить в виде вектора, модуль которого пропорционален амплитуде решетки, а его положение относительно выделенного направления определяет фазу рассматриваемой решетки. Соответствующая векторная диаграмма представлена на рис. 8, а. Вектор a соответствует основной решетке, записываемой пучками R и S , векторы b_1 и b_2 изображают дополнительные решетки, образованные соответственно в результате интерференции пучков R_0, R_1 и S_0, S_1 . На рис. 8, б показан случай, соответствующий равенству интенсивностей пучков $I_R = I_S$ и $\psi = 0$. Очевидно, что в этом случае вектор суммарной решетки равен вектору основной решетки a . При небольших η векторная модель (рис. 7) позволяет получить соотношения для степени усиления при считывании лучом S

$$\xi = \frac{c_1^2}{a^2} = 1 + \left(\frac{b_2}{a}\right)^2, \quad (9)$$

откуда следует, что при любых малых значениях b_1 $\xi > 1$, т.е. имеет место С-голограмм, причем вид ξ сохраняется для обеих брэгговских пучков.

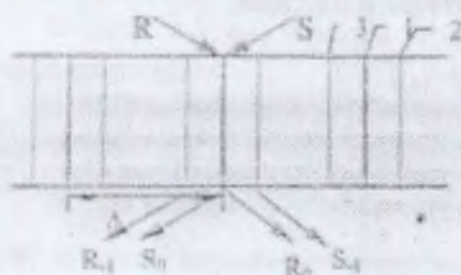


Рис. 7. Формирование основной (1) и дополнительных решеток (2 и 3) при двухлучевой записи в среде с анизотропией в масштабе времени

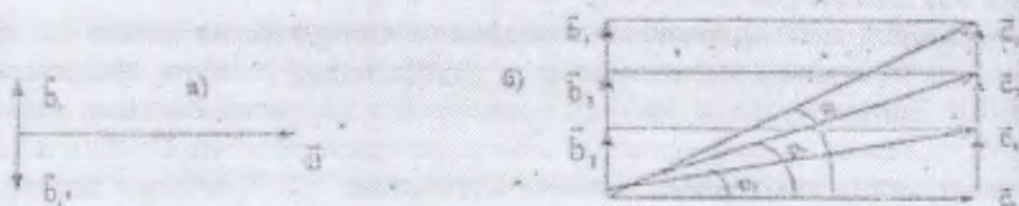


Рис. 8. Векторная диаграмма дополнительных решеток, поясняющий эффект когерентного СУ. а - запись двумя пучками равной интенсивностью; б - считывание исходной решетки брэгговским пучком S

Заключение

1. ФГМ фирмы Du Pont для записи голографической информации характеризуются наличием эффекта СУ, развитие которого после прекращения двухлучевой записи приводит к росту исходной ДЭ до стационарного значения.
2. Предельно достижимые в результате СУ значения $\eta_{\max}$ при заданной интенсивности записывающих пучков определяются выбором рабочей точки и

- сетки η_0 . Для заданного η_0 в области малых значений Λ , η_{max} увеличивается с уменьшением периода голографической решетки. Увеличение η_{max} объясняется уменьшением длины диффузионного пробега мономера и увеличением модуляции ее концентрации по слою.
- Увеличение интенсивности записывающих пучков приводит к увеличению скорости СУ и росту η_{max} . Это объясняется зависимостью степени полимеризации и плотности упаковки полимерных молекул от интенсивности облучения.
- Для ФГМ фирмы Du Pont характерен процесс когерентного СУ голограмм. Максимально достигнутый коэффициент СУ составляет ~16,5.
- Характерной особенностью СУ в указанных материалах является: $\eta(t)$ всегда превышает η_0 и стабилизируется на достигнутом уровне по завершении процесса голографической записи.
- Сдвиг максимума восстановленного сигнала от условий записи связан с наличием результирующей решетки, сформировавшейся при когерентном СУ. Указанная результирующая решетка начнет влиять на ДЭ при высоких значениях коэффициента когерентного СУ.

Библиографический список

1. Booth B.L. // *App. Opt.* -1972.-Vd.11, -P.2994-2995.
2. Booth B.L. // *App. Opt.* -1975.-Vd.14, -P.593-601.
3. Азиев А.А., Жумалиев К.М., Сагымбаев А.А., Сагымбаев Д.А. // *Оптический журнал*, т.65, №4, 1998, С.37-42.
4. Азиев А.А., Жумалиев К.М., Сагымбаев А.А., Джаманкызов Н.К., Сагымбаев Д.А. // *Наука и новые технологии*, №1, 1997, -С.17-22.
5. K.M. Zhumaliev, A.A. Sagymbaev, N.K. Dzhamanlyzov, D.A. Sagymbaev // *Quantum electronics*, 1996, vol.26.
6. Menon W.K., Monroe B.M., Weber A.M., Keys D.E. // *Practical Holography IV*; SPIE OE /Laser Conf., Los Angeles, 1990; Proc. -S.1., s.a.
7. Kogelnic H. // *Bell system Tech.J.* -1969.-Vol.48, -P.2909-2947.
8. Кольер Р., Беркхард К., Лин Л. *Оптическая голография: Пер. с англ.* -М., Мир, 1973.
9. Kowarschik R. // *App. Phys.*, 1981, Bd.38, H.6, p.396-404.
10. Шварц К.К. *Физика оптической записи в полупроводниках и диэлектриках*. Рига: Зинатне, 1986. -280 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ СМЕСИ ПО МАКСИМУМУ ЧИСЛА СОСТОЯНИЙ СИСТЕМЫ С РАВНЫМИ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ ПРОНИЦАЕМОСТЯМИ

14. Метод кристаллических сеток в механике твердых тел. <i>Жадрасинов Н.Г. КФГТУ, Караганда, Респ. Казахстан</i>	32
15. Исследование влияний различных помех на устройство оптимального различителя сложных сигналов. <i>Жаймуратов Н. ЖАГУ, Джамал-Аблат</i>	56
16. Ортогональная ассоциативная память, основанная на алгоритме обратного функционирования. <i>Жаймуратов А.А., Эсенжолдиев Ч.Э. Сарыбаева А.А. КРСУ, КТУ, Бишкек</i>	61
17. Особенности мультиплексирования голограмм в трехмерных фазовых многомеризирующихся индикаторах. <i>Жуналиев К.М., Сагымбаев А.А., Ажигитов Н.А., Абакирова Ж., Токонов А.Т., Адылбаев А.Н. КТУ, Бишкек</i>	66
18. Самоусиление голограмм в объемной ретрансформирующей среде фирмы DU PONT. <i>Жуналиев К.М., Сагымбаев А.А. Ажигитов Н.А., Токонов А.Т., Сагымбаева С.Ы., Адылбаев С.Ы. КТУ, Бишкек</i>	71
19. Определение диэлектрической проницаемости среды по максимуму числа состояний системы с равными диэлектрическими проницаемос- тями. <i>Исмаилов Э.Б., Сагиркулов К.А. КТУ, Бишкек</i>	77
20. Исследование механизмов спадания сферических порочных выско- дированных стержней. <i>Касымжанов Н.К. КТУ, Бишкек</i>	86
21. Многоканальный голографический интерферометр. <i>Исмаилов Ю.А. КТУ, Бишкек</i>	91
22. Спектры ЭПР ионов меди и их изменение под действием рентге- новского облучения. <i>Кудайберг К.К., Элимажынов Ч.Э. КТУ, Бишкек</i>	95
23. Аналитическое моделирование влияния внешних воздействий на стоковые характеристики МДП-транзисторов. <i>Мамжиганова С.И., Мисирева Н.Н. КРСУ, КТУ, Бишкек</i>	98
24. Теоретические основы электрохимической зенитной электронов <i>Макрышев А.И. Мухамжанов В.Н., Харин С.Н. ИГиС, Алматы, Респ. Казахстан</i>	103
25. Изучение физико-химических процессов, протекающих при термообра- ботке в поликристаллической структуре. <i>Самиркулов К.А., Елимов Ч.А., Мухамбаев К.М., Бариев Б.М., Абдыраимов Н.Н. КТУ, КГНУ, Бишкек</i>	108
26. Определение объема трека рентгеновских фотонов по реакции воз- становления F-центров в иттриевых кристаллах KBr <i>Турсунбаев К.Т., Турсунбаев Н.А. КТУ, Бишкек</i>	111
27. Усовершенствование коронно-электростатических барабанных сепараторов. <i>Сидименов О.А., Карамбаев Ж.А., Калымбек Е.А. ТарГУ, Тараз, Респ. Казахстан</i>	114