

А К А Д Е М И Я Н А У К С С С Р
ОТДЕЛЕНИЕ ОБЩЕЙ ФИЗИКИ И АСТРОНОМИИ
НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ПРОБЛЕМЕ «ГОЛОГРАФИЯ»

Регистрирующие
СРЕДЫ
для
ГОЛОГРАФИИ

О Т Д Е Л Ь Н Й О Т Т И С К



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»
ЛЕНИНГРАДСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
Л Е Н И Н Г Р А Д • 1975

6. Гирина М. Г., Соболев Г. А. Уч. зап. (физика, методика), 1974, 27, вып. 8, с. 45—69.
7. Денисюк Ю. Н. ДАН СССР, 1962, 144, с. 275; 1967, 6, с. 851.
8. Гирина М. Г., Соболев Г. А. Опт. и спектроскоп., 1972, 32, № 1, с. 216.
9. Соболев Г. А., Макеев В. А. Докл. на Междунар. конгрессе по фотогр. науке в Москве. Секция Д. М., Внешторгиздат, 1970, с. 215—219.
10. Гирина М. Г., Мандросов В. И., Соболев Г. А. Журн. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1973, 18, № 3, с. 184.
11. Соболев Г. А., Гирина М. Г. Техн. кино и телевид., 1973, № 6, с. 19.

Ю. Е. УСАНОВ

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА ПРОЯВИТЕЛЯ НА СВОЙСТВА ГОЛОГРАФИЧЕСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

При обработке голограмм специальными проявителями, повышающими их дифракционную эффективность (ДЭ) [1, 2], было замечено, что высокое значение ДЭ голограмм наблюдается в том случае, когда проявленное изображение (при рассмотрении его в проходящем свете) окрашено в бурый цвет. Эти проявители

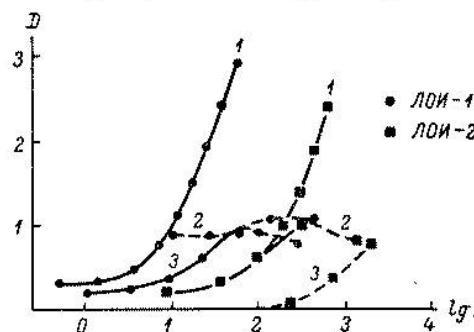


Рис. 1. Характеристические кривые голограммических фотопластинок, проявленных в различных проявителях.

1 — Д-19, 2 — Валента, 3 — ГП.

использовались при исследовании свойств голограммических фотопластинок ЛОИ-1 и ЛОИ-2. Для сравнения пластины были обработаны и в проявителе Д-19.

Пластины экспонировались в сенситометре в соответствии с ГОСТом 28-17-50 и в интерферометрической установке с гелий-неоновым лазером, позволяющей получать набор интерферирующих пучков различной интенсивности [3]. В проявителе Валента фотоматериалы обрабатывались 6 мин., 40 мин. — в ГП и в Д-19 — 4 мин. при $20 \pm 0.5^\circ\text{C}$. После проявления все фотопластинки фик-

сировались (за исключением тех, на которых регистрировались голограммы во встречных пучках), и подвергались промывке и сушке.

На рис. 1 представлены характеристические кривые фотопластинок ЛОИ-1 и ЛОИ-2. Пунктирной линией отмечены участки характеристических кривых, соответствующие полям бурого цвета, а сплошной — полям серого цвета. Из сравнения кривых видно, что светочувствительность фотопластинок ЛОИ-1 и ЛОИ-2, при проявлении их в ГП, оказывается значительно ниже, чем в проявителе Д-19. Высокая оптическая плотность дихроичной вуали, возникающая на пластинках ЛОИ-1 в проявителе Валента, делает процесс проявления мало избирательным. Только пластины ЛОИ-2, проявленные в проявителе Валента, имеют чувствительность и плотность вуали такие же, как и в проявителе Д-19.

Эти результаты дают основание предположить следующее:

- 1) низкая чувствительность фотопластинок ЛОИ-1 и ЛОИ-2, полученная в проявителе ГП, обусловлена малой активностью проявителя и присутствием в нем антигуалирующего вещества;
- 2) значительная дихроичная вуаль, полученная на фотопластинках ЛОИ-1 при обработке их в проявителе Валента, вызвана высокой растворимостью микрокристаллов эмульсионного слоя;
- 3) микрокристаллы AgHal фотопластинок ЛОИ-1 более растворимы, чем микрокристаллы пластины ЛОИ-2.

Максимальные величины ДЭ голограмм с пространственной частотой 1200 м^{-1} составляют на фотопластинках ЛОИ-1, обработанных в проявителе Валента, 8%, а в ГП — 5%; на фотопластинках ЛОИ-2 соответственно — 14 и 10%. Во всех этих случаях проявленные фотопластинки имеют бурый цвет. Когда же их цвет серый, то ДЭ не превышает $1.5 \pm 2.2\%$.

Чтобы выяснить причину различия цветности изображения, были сделаны электронные микрофотографии препаратов эмульсии ЛОИ-1, проявленных в проявителе ГП (бурого цвета) и Д-19 (серого цвета). Как видно из рис. 2, серебряные частицы, образующиеся в проявителе Д-19, значительных размеров и нитевидной формы. Частицы же серебра, образующиеся в ГП, имеют сферическую форму, малые размеры, а цвет образованного ими изображения подобен цвету коллоидных растворов серебра.

Анализ приведенных фактов дает основание считать, во-первых, что высокое значение ДЭ голограмм наблюдается в тех случаях, когда проявленные частицы серебра имеют сферическую форму, а их размеры значительно меньше длины волны падающего света; во-вторых, для получения таких частиц необходимо, чтобы происходил процесс физического проявления, регулируемый соотношением растворимости микрокристаллов галогенидов серебра в данном проявителе и скорости их восстановления.

Описанные выше опыты и соображения легли в основу разработки состава нового голограммического проявителя ГП-2, в 1.5 раза

более концентрированного, чем проявитель ГП, в котором антигуалярирующее вещество (5-нитробензимидазол) было заменено растворителем галогенидного серебра (роданистым аммонием). Этот проявитель имеет следующий состав: метилфенидона — 0.0075 г,

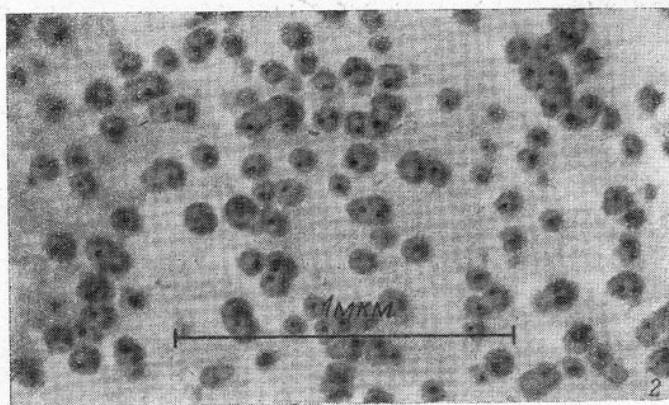
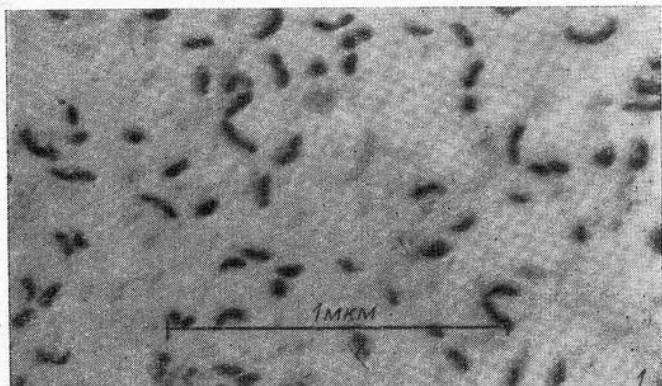


Рис. 2. Электронные микрофотографии частиц серебра, полученных при проявлении фотопластинок ЛОИ-1 в проявителях Д-19 (1) и ГП (2). Увел. 36 000 \times .

гидрохинона — 0.188 г, сульфита натрия безводного — 3.75 г, едкое кали — 0.188 г, роданистого аммония — 0.45 г, воды до 1 л.

Для получения в проявителе ГП-2 на пластинках ЛОИ-1 и ЛОИ-2 сенситограмм и голограмм, состоящих из полей, окрашенных в бурый цвет, нужно вести процесс проявления в течение 12 мин. без перемешивания проявителя при температуре $20 \pm 0.5^\circ\text{C}$.

Сравнение спектров поглощения (рис. 3), измеренных на этих полях, со спектрами поглощения сухого желатинового слоя, содержащего высокодисперсное коллоидное серебро или колларгол, подтверждает правильность сделанного выше предположения о сравнимости размеров частиц коллоидного серебра и частиц серебра, полученных в результате обработки экспонированных фотопластинок в проявителях ГП и ГП-2. С увеличением времени проявления размер серебряных частиц увеличивается и кривая

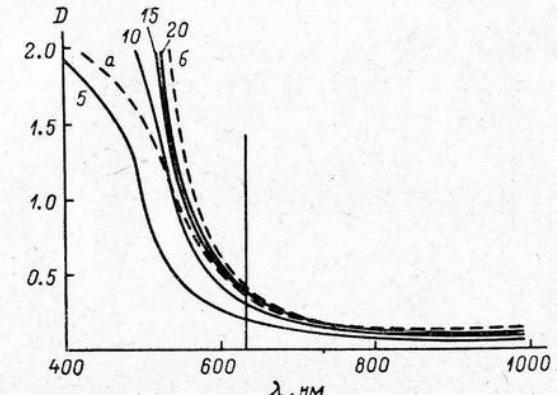


Рис. 3. Спектральные кривые поглощения серебра, полученного на фотопластинках ЛОИ-2, экспонированных количеством света $H = 36 000$ лк·сек. и проявленных в ГП-2 (сплошные кривые), высокодисперсного коллоидного серебра (а) и колларгола (б), диспергированных в сухом желатиновом слое.

Цифры у кривых — время проявления в минутах.

зависимости $D = f(\lambda)$ для проявленного серебра приближается к кривой для колларгола.

На рис. 4 показана зависимость $D = f(\lambda)$ для фотопластинок ЛОИ-2, экспонированных различным количеством света и проявленных в ГП-2 в течение 15 мин. (для усиления вуали). Для сравнения на этом же рисунке приведена кривая спектра поглощения колларгола. Расположение кривых на рисунке позволяет предположить, что наименьшие размеры имеют частицы проявленного серебра, находящиеся в участках слоя, экспонированных количеством света $H = 36 000$ лк·сек. С уменьшением экспозиции средний размер проявленных частиц увеличивается. В участках слоя, экспонированных $H = 300$ лк·сек. и неэкспонированных, количество серебряных частиц, сравнимых с коллоидным, незначительно. Высказанное предположение подтверждается электронными микрофотографиями частиц серебра, полученными при проявлении в ГП-2 фотопластинок ЛОИ-2, экспонированных различным количеством света (рис. 5).

На рис. 6 приведена зависимость ДЭ от экспозиции для голограмм с частотой 1200 мм^{-1} , полученных на фотопластинках ЛОИ-1 (пунктир) и ЛОИ-2 (сплошные кривые), обработанных в проявителях ГП-2 (3), Валента (2) и Д-19 (1). Из рисунка видно, что проявитель ГП-2 позволяет получать голограммическое изображение с высокой ДЭ при экспозициях значительно меньших, чем это возможно для проявителя Валента. Особого внимания заслуживают максимальные значения ДЭ голограмм с частотой

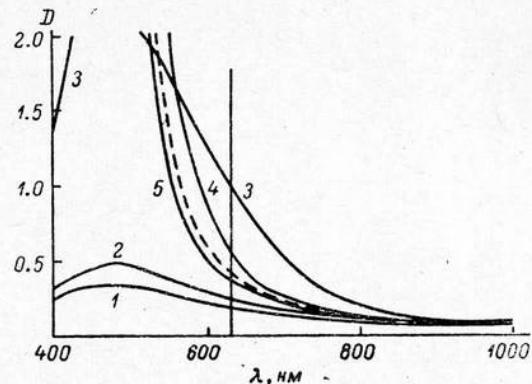


Рис. 4. Спектральные кривые поглощения серебра, полученного при 15 мин. проявления на фотопластинках ЛОИ-2, экспонированных различным количеством света (сплошные кривые) и колларгола в сухом желатиновом слое (пунктир).

H , лк·сек.: 1 — 0 (вуаль), 2 — 300, 3 — 4800, 4 — 12000, 5 — 36000.

1200 мм^{-1} , обработанных в проявителе ГП-2, составляющие 40% для пластинок ЛОИ-2 и 18% для пластинок ЛОИ-1, а также ДЭ голограмм, полученных во встречных пучках на пластинках ЛОИ-2, проявленных в ГП-2, равная 50% (на рисунке не показано). Столь высокие значения ДЭ голограмм, обработанных в ГП-2, позволяют предположить, что проявленные частицы серебра не только поглощают свет, но и изменяют фазовую структуру светового потока.

В ряде работ отмечалось наличие фазовой структуры у проявленных фотоматериалов [4—6]. Это явление объясняется различием толщины проявленного слоя в экспонированных и неэкспонированных его участках, а также изменением показателя преломления желатинги, либо задубленной продуктами окисления проявляющих веществ, либо адсорбированной на проявленных частицах серебра. Изменение фазовой структуры тем значительнее, чем меньшие размеры имеют микрокристаллы галогенида серебра эмульсионного слоя [6].

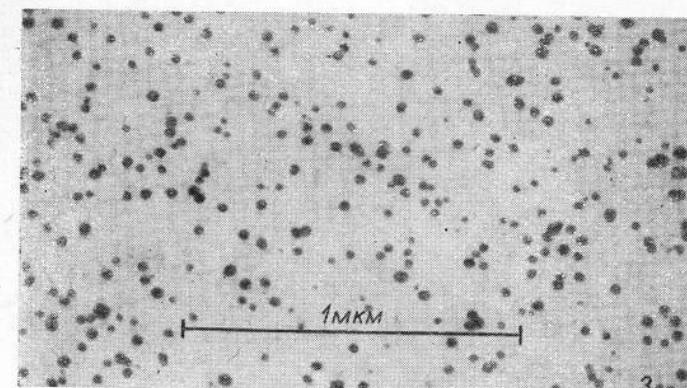
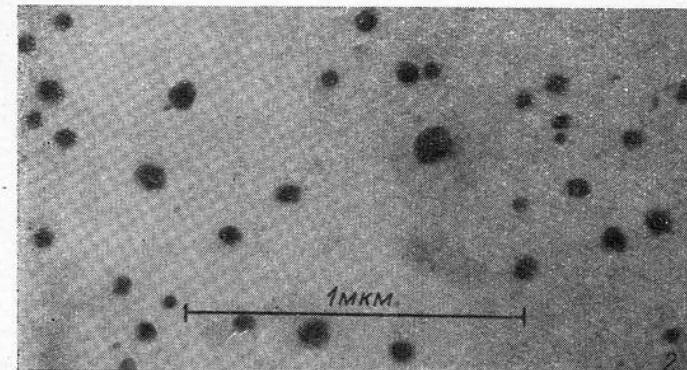
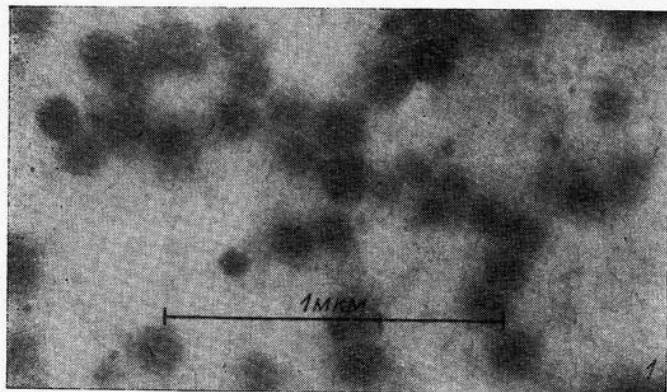


Рис. 5. Электронные микрофотографии частиц серебра, полученных в проявителе ГП-2 на фотопластинках ЛОИ-2, экспонированных различным количеством света H . Увел. $12\,000\times$.

H , лк·сек.: 1 — 0 (вуаль), 2 — 1200, 3 — 12 000.

Голографические пластиинки ЛОИ-1 и ЛОИ-2, проявленные в ГП-2, не имеют значительного поверхностного рельефа, способного повлиять на качество голографического изображения. Это доказывается тем, что нанесение на поверхность эмульсионного слоя иммерсии не вызывает изменения $D\Delta$. Проявитель ГП-2 не является дубящим, следовательно фазовые эффекты не могут быть связаны с изменением показателя преломления желатины в экспонированных участках фотослоя. Кроме того, чтобы желатина, задубленная или адсорбированная на поверхности частиц серебра, могла приводить к наблюдаемым изменениям оптических свойств слоя, как показали опыты с отбеленными голограммами, его показатель преломления должен измениться с 1.5 до величины значительно большей, чем 2.2 (показатель преломления AgBr), что представляется мало вероятным.

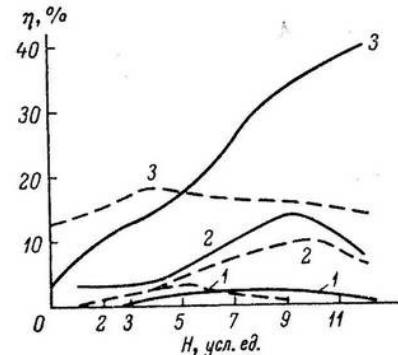


Рис. 6. Зависимость дифракционной эффективности η от экспозиции H для фотопластиинок ЛОИ-1 и ЛОИ-2, обработанных в проявителях Д-19, Валента и ГП-2.

экспонированных различным количеством света и проявленных в ГП-2 в течение 5, 10, 15 и 20 мин. Аналогичные измерения были выполнены для желатиновых слоев, содержащих диспергированное коллоидное серебро. В таблице приведены величины разности длин оптического пути Δ , вызванные изменением только показателя преломления слоя в присутствии частиц серебра, создающих оптическую плотность D .

Представленные в таблице данные, характеризующие фазовые свойства фотопластиинок ЛОИ-2 в зависимости от экспозиции и времени проявления, электронные микрофотографии частиц серебра (рис. 5), а также расположение кривых спектрального поглощения частиц серебра (рис. 3 и 4), показывают, что величина Δ определяется в основном размером частиц серебра и их количеством. На фотопластиинках ЛОИ-2, экспонированных 300 лк·сек. и неэкспонированных и проявленных в ГП-2, образуются частицы серебра, по размерам значительно превосходящие микрокристаллы эмульсионного слоя. Эти частицы только поглощают и рассеивают свет, не изменяя фазовой структуры слоя. С увеличением экспозиции средний размер частиц уменьшается

H , лк·сек. (белого света)	Время проявления, мин.									
	5		10		15		20			
	$D_{D_{633}}$	Δ , мкм	$D_{D_{633}}$	Δ , мкм	$D_{D_{633}}$	Δ , мкм	$D_{D_{633}}$	Δ , мкм		
36000	0.28 0.13	0.18 0.23	0.46 0.32	0.27 0.32	0.54 0.62 0.33	0.37 0.45	0.62 0.73	0.46 0.45	0.06 0.11	0.06 0.09
12000	0.25	0.10	0.50	0.32	0.62	0.45	0.73	0.45	0.11	0.12
4800	0.23	0.05	0.60	0.35	0.84 0.47	0.50	0.90	0.40	0.14	0.10
1200	0.04	0.00	0.60	0.00	1.02 0.82	0.32	1.45	0.30	0.16	0.12
300	0.00	0.00	0.05	0.00	0.20 0.20	0.00	0.50	0.00	0.25	0.15
Вуаль	0.00	0.00	0.04	0.00	0.14 0.14	0.00	0.34	0.00	0.72	0.57

и Δ растет, так же как и для коллоидного серебра с увеличением его концентрации в слое. Однако с увеличением времени проявления размер частиц увеличивается, увеличивается и оптическая плотность изображения, следствием чего является уменьшение Δ . Приведенные результаты опытов позволяют заключить, что дифракционная эффективность голограмм, полученных в сильно разбавленных проявителях, обусловлена наличием в слое высоко-дисперсных частиц проявленного серебра, вызывающих не только амплитудную, но и фазовую модуляцию волнового фронта.

Автор благодарен докт. хим. наук Г. П. Фаерману за постановку данной работы, Л. П. Говоркову, выполнившему электронные микрофотографии, М. М. Ермолаеву за обсуждение и ценные замечания, а также канд. хим. наук Е. Д. Воейковой, предоставившей золи серебра.

ЛИТЕРАТУРА

1. Valenta E. Enzyklopädie der Photographie, 1912, 2, p. 63.
2. Усанов Ю. Е., Ермолаев М. М. Опт.-мех. пром., 1972, № 12, с. 39.
3. Ермолаев М. М., Михайлова Е. И. Опт.-мех. пром., 1973, № 10, с. 27.
4. Smith H. M. J. Opt. Soc. Amer., 1968, 58, p. 533.
5. Lambert R. L. J. Opt. Soc. Amer., 1970, 60, p. 1389.
6. Buschmann H. T. Photogr. Sci. and Eng., 1972, 16, № 6, p. 425.
7. Г. ван де Хюлст. Рассеяние света малыми частицами. М., ИИЛ, 1961, с. 79.