

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 771.537

А. А. КУЗЬМИЧЕВ, Ю. В. НЕЧЕПУРЕНКО, В. Г. СОКОЛОВ  
(Минск)

СТРУКТУРОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ  
В ФОТОГРАФИЧЕСКИХ СЛОЯХ  
НА ОСНОВЕ ПЛЕНОК ДИОКСИДА ТИТАНА

Благодаря своим специфическим свойствам фотографические слои на основе тонких прозрачных пленок диоксида титана представляют интерес в качестве среды для записи информации [1, 2], а также могут быть использованы для создания различных элементов оптических устройств (дифракционные решетки, высокоточные линейки, шкалы, лимбы и т. п.) [3]. При обработке экспонированных слоев по методу физического проявления (ФП) изображение формируется на поверхности пленки  $TiO_2$  в виде слоя металла, толщина которого определяет оптические свойства, а особенности зарождения и роста — структурометрические характеристики изображений. Целью настоящей работы является оценка некоторых наиболее важных характеристик (зернистость, резкость края, частотно-контрастная характеристика (ЧКХ) и разрешающая способность), определяющих качество фотографического изображения.

Фотографические слои получали по известной методике [4]. Измерение ЧКХ  $TiO_2$ -слоев проводилось по методу, основанному на изучении зависимости уширения линий получаемых изображений от величины экспозиции [5] для различных условий химико-фотографической обработки [6]. Для этого  $TiO_2$ -слой методом контактного копирования экспонировался УФ-светом (ртутная лампа ДРТ-1000, интенсивность излучения  $5 \cdot 10^{-3}$  Вт/см<sup>2</sup>) через штриховую маску абсолютного контраста в интервале экспозиций 2,5 порядка. Маска содержит группы линий (по 5 линий в каждой со скважностью, равной 1,0) шириной от 2 до 128 мкм и длиной 6000 мкм. Распределение оптической плотности проявленного фотографического изображения измерялось при помощи сканирующего микродепситометра МД-100, сопряженного с компенсационным самописцем К-201, при минимальной ширине щели 1,2 мкм, а толщина никелевого слоя — с использованием микроинтерферометра МИИ-4. Следует отметить, что большая длина штриха изображения и возможность одновременного получения на одной фотопластине нескольких одинаковых изображений при различных экспозициях (фотошаблон содержит 25 одинаковых штриховых масок) позволяют провести независимые измерения в нескольких точках и на основе статистической обработки получить надежные усредненные данные.

Анализ изображений, полученных на растровом электронном микроскопе «Tesla BS 300», показал, что размер осаждаемых частиц металла, формирующих фотографическое изображение, не превышает 0,03 мкм. Неровность края линий при толщине слоя металла 0,04—0,1 мкм, что соответствует изменению значений оптической плотности изображений в



Рис. 1. Электронно-микроскопический снимок участка никелевого фотографического изображения, сформированного на поверхности пленки  $TiO_2$

$T(\nu)$   
0 200 400  $\nu, \text{мм}^{-1}$

Рис. 2. Частотно-контрастные характеристики системы экспонирующее устройство —  $TiO_2$ -слой в зависимости от толщины формирующего изображение пиксельного слоя, мкм:  
0,04 (1); 0,09 (2) и 0,21 (3)

интервале  $D \approx 2-3,5$ , составляет  $0,03-0,1$  мкм (рис. 1). Следовательно, при оптимальном режиме химико-фотографической обработки процесс ФП не накладывает ограничений на величину потенциальной разрешающей способности  $TiO_2$ -слоев, по крайней мере, до значений  $\sim 5000 \text{ мм}^{-1}$ .

Ход кривой ЧКХ  $TiO_2$ -слоев, экспонированных в указанных условиях, может быть описан двухпараметрическим уравнением, предложенным для слаборассеивающих фотографических материалов [5]:

$$T(\nu) = \rho + \frac{1 - \rho}{1 + (2\pi\nu k)^2},$$

где  $k$  — параметр, определяющий рассеяние в слое;  $\rho$  — постоянная величина. Кривая ЧКХ характеризуется наличием двух ярко выраженных участков (рис. 2). На начальном участке наблюдается спад коэффициента передачи модуляции, определяемый вторым членом уравнения, после чего кривая  $T(\nu)$  выходит на плато, уровень которого соответствует параметру  $\rho$ .

Как следует из результатов, представленных в таблице, увеличение длительности проявления экспонированных  $TiO_2$ -слоев не только сопровождается ростом толщины слоя металла и соответственно оптической плотности проявленного изображения, но и приводит к изменению значений параметров  $k$  и  $\rho$ . Полученная зависимость ЧКХ от длительности проявления имеет вид, характерный для фотографических материалов, при обработке которых используется ФП, поскольку этот процесс, будучи автокаталитическим, лишь на начальном участке формирования изображения отражает его оптические свойства, а на более поздних — закономерности роста металлической фазы, являющейся носителем информации.

Совокупность полученных в настоящей работе данных приводит к однозначному выводу, что при оптимальных условиях химико-фотографической обработки (такowymi, по-видимому, можно считать минимальное время ФП слоев до получения нужной величины оптической плотности) ход ЧКХ в области низких пространственных частот определяется главным образом частотной характеристикой системы получения изображения (в данном случае источником света и контактным методом экспонирования). Это и обуславливает переменную часть кривой. Что касается дальнейшего роста металлической фазы, соответствующего случаю перепроявления (достижение значений оптической плотности изображе-

№ п/п	Толщина слоя никеля, мкм	$D$	$k$ , мкм	$\rho$
1	0,04	2,2	1,5	0,7
2	0,09	3,5	2,5	0,6
3	0,21	>4	3,5	0,45

ния выше критических), то этот процесс может накладывать существенные ограничения на способность  $TiO_2$ -слоев передавать мелкие детали только в области высоких пространственных частот.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соколов В. Г., Рахманов А. К., Михайлов В. П. и др. Фотографические свойства пленочных слоев на основе диоксида титана // Предельные свойства фотографических материалов: Тез. докл.—Черноголовка: ОИХФ АН СССР, 1979.
2. Нечепуренко Ю. В., Поликанин А. М., Соколов В. Г. и др. Запись голограмм на тонких пленках диоксида титана // ЖНПФик.—1984.—29, № 1.
3. Соколов В. Г., Свиридов В. В. Перспективы использования тонкопленочных диоксидтитановых фотоматериалов в информационной и конструкционной фототехнологии // Приборостроение.—Минск: Выш. шк., 1988.—№ 10.
4. Оришева Р. М., Нечепуренко Ю. В., Соколов В. Г. и др. Регрессионные процессы в пленочных  $TiO_2$ -фотографических слоях // ЖНПФик.—1988.—33, № 3.
5. Вендровский К. В., Вейцман А. И. Фотографическая структурометрия.—М.: Искусство, 1982.
6. Браницкий Г. А., Воробьева Т. Н., Данильченко Е. М. и др. Особенности процессов усиления при получении металлических рисунков на светочувствительных пленках диоксида титана // Всесоюз. конф. по процессам усиления в фотографических системах регистрации информации: Тез. докл.—Минск: Изд-во Белорус. ун-та, 1981.

Поступило в редакцию 18 апреля 1989 г.

УДК 681.518.3 : 535.317.1

П. А. БАКУТ, М. В. КУЗНЕЦОВ, А. Д. РЯХИН  
(Москва)

#### ВОССТАНОВЛЕНИЕ ФОРМЫ ПОВЕРХНОСТИ ПО ЕЕ ПОЛУТОНОВЫМ ИЗОБРАЖЕНИЯМ

Задачу определения трехмерной формы поверхности по ее полутоновому изображению, сформированному по рассеянному поверхностью подсвечиваемому оптическому излучению, обычно решают в предположении ламбертовского закона рассеяния при постоянном коэффициенте отражения [1—3]. Этот закон справедлив для ограниченного класса поверхностей, например для поверхностей с объемным характером рассеяния [1]. Рассмотрим практически важный случай наблюдения непрозрачной поверхности с неразрешаемыми оптической системой шероховатостями, распределенными по гауссовому закону, размер которых значительно превосходит длины волн подсвечиваемого излучения. Распределение интенсивности в изображении такой поверхности определяется распределениями средней высоты поверхности  $Z(x)$  над предметной плоскостью  $x$ , коэффициента отражения  $K(x)$  и среднеквадратичного наклона шероховатостей  $\gamma(x)$ . Математическое описание закона распределения интенсивности в изображении такой поверхности было получено в [4]. Обобщая этот закон на случай некогерентного подсвета параллельным пучком, получим для распределения интенсивности  $I(x)$  некогерентного изображения выражение вида

$$I(x) = K(x) \exp \left\{ - \frac{|\mathbf{g}(x) - \mathbf{n}/2|^2}{4\gamma^2(x)} \right\} \quad (4)$$

где  $\mathbf{g}(x) = \text{grad } Z(x)$ , а  $\mathbf{n}$  — проекция единичного вектора, параллельного направлению подсвета, на предметную плоскость. Очевидно, что существует большое число наборов функций  $K$ ,  $\gamma$  и  $\mathbf{g}$ , приводящих к одному и

© 1990 Бакут Н. А., Кузнецов М. В., Ряхин А. Д.

7 Автометрия № 3, 1990 г.

89