

## Спектральная и переходная характеристики фотослоя, его шум, кривая почернения

Составитель и ведущий преподаватель:

Бурдонский Игорь Николаевич

В большинстве современных оптических устройств регистратором является фотослой, т.е. трехмерное запоминающее устройство, в котором каждому элементу площади соответствует определенная плотность почернения  $D$ .

Плотность почернения определяется как

$$D = \lg\left(\frac{I_0}{I}\right), \quad (1)$$

где  $I$  – интенсивность света, прошедшего через фотометрируемый (см. ниже) участок фотослоя,  $I_0$  – интенсивность света в отсутствие фотослоя. Функция  $D(E)$ , где  $E$  – плотность энергии светового потока, упавшего на пленку при ее экспонировании, называется кривой почернения или характеристикой кривой. Функция  $D(E)$ , зависящая также от характера освещения при фотографировании, способа проявления и последующей обработки, не может быть рассчитана теоретически и обычно представляется эмпирической кривой. Кривые  $D(E)$  различны для разных длин волн экспонирующего излучения.

Для обычных бромсеребряных эмульсий коротковолновая граница чувствительности – 2000 Å. Начиная с 2300 Å, сказывается поглощение света желатином фотослоя. Фотохимическая чувствительность бромистого серебра имеет длинноволновую границу вблизи 5500 Å. Максимум чувствительности лежит около 4000 Å. Введение в эмульсию специальных красителей (сенсбилизаторов) позволяет расширить область чувствительности фотоэмульсий до 11000–12000 Å.

Из-за зернистой структуры фотослоя, создающей мешающий “шум”, значения функции  $D(x, y)$  принципиально можно получить только усредненными по некоторой площадке  $\Delta S = \Delta x \cdot \Delta y$ . Заметим, что результирующее значение шума складывается из помех двух сортов: собственного шума фотослоя, т.е. вуали, определенного спонтанно активированными зернами, и шума, возникающего из-за квантовой природы записи. Поясним последнее. Если квантовый выход фотоэмульсии  $\sigma_{\text{фз}}$  и на площадку  $\Delta S$  падает  $N_{\text{ф}}$  фотонов, то среднестатистическое число активированных зерен составит  $\sigma_{\text{фс}} \cdot N_{\text{ф}}$ , а ошибка в определении по зарегистрированному  $\sigma_{\text{фс}} \cdot N$  будет равна флуктуации последней ве-

личины:  $\sigma = \sqrt{\sigma_{\phi_3} \cdot N_{\phi}}$ . Другими словами, относительная ошибка измерения  $\sigma / \sigma_{\phi_3} \cdot N_{\phi} = 1 / \sqrt{\sigma_{\phi_3} \cdot N_{\phi}}$ . Таким образом, проблема точности при фиксированном значении  $\sigma_{\phi_3}$  – проблема энергетическая, чем больше световой поток, тем выше точность. В то же время плотность энергии, падающей на фотослой, не может превосходить некоторого определенного значения, поэтому увеличение светового потока должно сопровождаться увеличением площади, на которой он регистрируется. В силу названных причин величина  $\Delta S$  ограничена снизу величиной допустимой экспозиции  $\varepsilon_{\max}$  и значением ошибки

$$\overline{\delta \varepsilon}(D) = \frac{\sqrt{\Delta \varepsilon^2}}{\varepsilon} = \frac{2,3 \cdot G(D)}{\gamma \cdot \sqrt{\Delta S}}, \quad (2)$$

где  $G$  – фактор зернистости,  $\gamma$  – контрастность фотоматериала. Для большинства современных высокочувствительных фотоэмульсий ошибка записи может быть найдена по формуле

$$\overline{\delta \varepsilon} = \frac{4 \cdot 10^{-4}}{\sqrt{\Delta S}}, \quad (3)$$

если  $\Delta S$  – в кв.см. Формулы (2,3) получены в предположении, что шум “белый”. Однако, если известен спектральный состав шума пленки, можно говорить о доминирующих частотах и выбирать фильтры для “чистки” изображения.

Как уже говорилось выше, переход от измеренных значений почернений фотослоя к величине, воздействовавшей на него за время экспозиции энергии, может осуществляться только с помощью эмпирической градуировки эмульсии. Для этого на эмульсию наносят так называемые марки почернений (иногда их называют марки интенсивности). Чаще всего марки почернений наносятся с помощью ступенчатого ослабителя. Он состоит из ряда полупрозрачных слоев с разной степенью пропускания. Обычно применяются тонкие слои платины, нанесенные на стеклянную или кварцевую подложку, закрытые от повреждений такой же прозрачной пластиной. Платиновые слои употребляются из-за незначительной селективности по сравнению с другими материалами. Ступенчатый ослабитель состоит, как правило, из 7–9 слоев, пропускание которых измеряется от 1 до 0,1. Для получения марок почернения ослабитель устанавливается перед щелью спектрографа. Для получения надежных данных необходимо, чтобы все ступеньки ослабителя освещались одинаково, и свет от всех действующих участков щели одинаково заполнял оптику прибора. Неоднородность освещения не должна превышать 5%.

Для измерения плотности почернения фотослоя применяются оптические приборы-микрометры. В этом приборе источником освещения служит лампа накаливания, которая через систему конденсоров освещает фотослой. С помощью призмы и микрообъектива изображение фотослоя переносится на экран, в плоскости которого находится измерительная щель, регулируемая как по ширине, так и по высоте. За измерительной щелью располагается фотоприемник (фотоэлемент или фотоумножитель). Выходной ток последнего, пропорциональный величине  $I$ , подается на измерительный прибор.

Для решения задачи, связанной с восстановлением распределения исходной интенсивности и фильтрации, необходимы сведения о свойствах используемой оптической системы, данные о действующих в системе шумах и ее аппаратной функции  $g(x)$ . Определить  $g(x)$  довольно просто можно из измерений, в которых на вход оптической системы проецируется щель с шириной меньше нормальной, т.е. щель с шириной  $d \ll \beta$ , где  $\beta$  – полуширина аппаратной функции:  $g(0) = 2g\left(\frac{\beta}{2}\right)$ . На

практике, если нет предварительных сведений о величине  $\beta$ , ширина изображения щели на входе системы уменьшается до тех пор, пока форма регистрируемой на выходе кривой  $E(x)$  или  $D(x)$  не перестанет меняться (здесь  $E(x)$  – освещенность, а  $D(x)$  – почернение фотоматериала). Аппаратная функция  $g(x) = \kappa_1 \cdot E(x)$ , где нормировочный множитель  $\kappa_1$  выбирается так, чтобы  $\kappa_1 \cdot \int_{-\infty}^{+\infty} E(x) dx = 1$ . В отсутствие астigmatизма двумерная аппаратная функция находится из уравнения

$$g(x) = 2 \cdot \kappa_2 \cdot \int_r^{+\infty} \frac{g(r) \cdot x}{\sqrt{r^2 - x^2}} dx, \quad (4)$$

где  $\kappa_2$  – нормировочный множитель;

$g(r) = g\left(\sqrt{x^2 + y^2}\right)$  – двумерная аппаратная функция  $g(x, y)$ . Фурье-образ аппаратной функции

$$K(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} g(x) \cdot \exp(-i\omega x) dx \quad (5)$$

называется коэффициентом передачи или частотно-контрастной функцией. Этот коэффициент показывает, во сколько раз амплитуда пространственной частоты  $\omega$  на выходе системы меньше, чем на входе.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ состоит в определении характеристической кривой фотослоя, аппаратной функции спектрографа при фотографической регистрации.

### ПОРЯДОК РАБОТЫ

1. Проэкспонировать пленку, установленную в кассете спектрографа. Для этого входную щель последнего равномерно осветить ртутной лампой. Перед входной щелью установить ступенчатый ослабитель. Экспонирование провести  $\Delta\tau_1 = 2$  с,  $\Delta\tau_2 = 6$  с,  $\Delta\tau_3 = 12$  с, при  $d = 0,100$  мм.

2. Изменять положение пленки вертикальным перемещением кассеты 11.15.19, а положение спектральной линии рукояткой микрометрического винта, поворотного механизма блока призм.

Проэкспонировать пленку при  $\Delta\tau = 20$  с при ширине входной щели  $d$  [подобрать из расчета:  $\lambda = 0,53$  мкм,  $f_{\text{сп}} = 270$  мм, и действующим относительным отверстием 1/5,5].

3. Проявить фотопленку. Условия проявления следующие:  $t = 20$  °С,  $\tau_{\text{прояв}} = 6$  мин.,  $\tau_{\text{закреп}} = 10$  мин.,  $\tau_{\text{промыв}} = 15$  мин.

4. Профотометрировать марки почернения и построить зависимость  $D(E = I \cdot \Delta\tau)$ , где  $I$  – мощность светового потока (интенсивность), прошедшего через ступенчатый ослабитель, а  $\Delta\tau$  – время экспонирования.  $I_0$  – мощность светового потока, прошедшего без ослабления, принять за единицу, а  $I_k$  – вычислить по паспортным данным ступенчатого ослабителя. Функцию  $D = \lg\left(\frac{I_0}{I}\right)$  построить в координатах  $E = I \cdot \Delta\tau$ .

5. Сравнить полуширины спектральных линий, снятых с разной шириной щели, и определить “нормальную ширину” щели. Построить график аппаратной функции и составить таблицу ее значений.

6. Профотометрировать одну из марок почернения, установив ширину измерительной щели микрофотометра  $d = 0,01$  мм, а высоту  $h = 0,5$  мм. Построить график.

Паспорт ступенчатого ослабителя № 780206 (ИСП-51)									
ступени	1	2	3	4	5	6	7	8	9
lg пропускания	2,00	1,80	1,62	1,42	1,24	1,06	0,90	0,75	2,00

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

*Зейдель А.Н., Островская Г.В., Островский Ю.И.* Техника и практика спектроскопии. М.: Наука, 1976.