

**КВАНТОВАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАЗЛИЧЕНИЯ ФОТОПЛЕНКИ УФ-ВР
ПРИ ЭКСПОНИРОВАНИИ МЯГКИМ РЕНТГЕНОВСКИМ ИЗЛУЧЕНИЕМ**

Б. А. Блехман, А. А. Кологривов, Т. И. Крестовникова,
Г. В. Скляков, А. С. Шиканов, М. Р. Шпольский

УДК 771.531.37; 778.33

Показано, что фото пленка УФ-ВР обладает высокой квантовой эффективностью различения ($\sim 30\%$) и высокой квантовой чувствительностью при экспонировании мягким рентгеновским излучением (0,2 - 0,6 нм) лазерной плазмы.

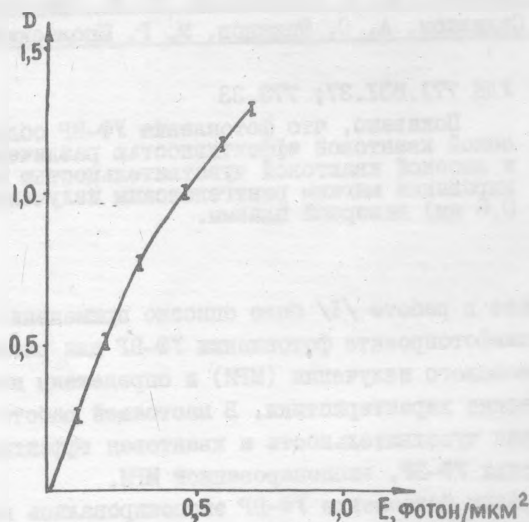
Ранее в работе /1/ было описано применение разработанной в Госниихимфотопроекте фото пленки УФ-ВР для регистрации мягкого рентгеновского излучения (МРИ) и определены некоторые ее сенситометрические характеристики. В настоящей работе были изучены квантовая чувствительность и квантовая эффективность различения фото пленки УФ-ВР, экспонированной МРИ.

Образцы фото пленки УФ-ВР экспонировались потоком МРИ в установке "Кальмар", предназначенной для исследования высокотемпературной лазерной плазмы /2/. Исследование спектрального состава МРИ такой плазмы методом фильтров показало /1/, что он близок к рекомбинационному континууму, соответствующему электронной температуре $T_e \sim 600$ эВ. Комбинирование фильтров из Al и Be различной толщины ограничивает этот спектр интервалом 0,2 - 0,6 нм (при одновременном изменении интенсивности потока МРИ). Изменение спектрального состава излучения существенно не влияет на характеристики фото пленки, что согласуется с данными работы /1/.

Для сопоставления структурметрических свойств образцы фото пленки экспонировались также видимым излучением ($T_{цв} = 6500$ К) в сенситометре ЦС-2М. Экспонированные образцы обрабатывались в проявителе Д-19 в течение 6 мин при 20 °С; плотности почернения образцов измерялись на денситометре "МАСВЕТН ТД-504".

Под квантовой чувствительностью фотопленки понимается среднее количество квантов излучения, необходимых для сообщения микрокристаллу (МК) фотопленки способности к проявлению.

Согласно формуле Наттинга /3/ $D = 0,43n\bar{a}$, где D - плотность почернения, n - количество проявленных МК, \bar{a} - средняя площадь проявленного МК в см^2 . Вместе с тем, $n = \psi E$, где ψ - среднее число МК, проявившихся после действия одного фотона,



Р и с. 1. Зависимость плотности почернения (D) от экспозиции (E) для фотопленки УФ-ВР, экспонированной МФИ ($D_0 = 0,10$)

E - экспозиция в фотон/ см^2 . Как следует из рис. 1, при небольших плотностях почернения $D = KE$, где K - тангенс угла наклона линейного участка кривой почернения $D = D(E)$. Таким образом $KE = 0,43\psi\bar{a}$, и $\psi = K/(0,43\bar{a})$.

Известно, что при обработке фотослоя в проявителе Д-19 площадь проявленного МК увеличивается \sim в 2,5 раза /3/. Принимая во внимание, что площадь непроявленного МК фотоэмульсии УФ-ВР в среднем равна 1,1 мкм^2 и величина $K = 2,5$, получим $\psi = 2,3$ зерна/фотон.

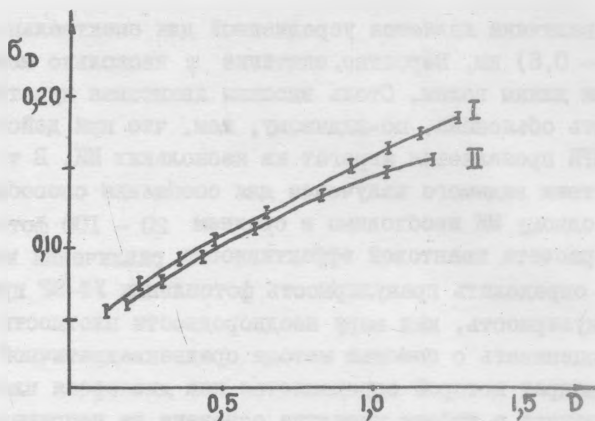
Эта величина является усредненной для спектрального интервала (0,2 - 0,6) нм. Вероятно, значение ψ несколько меняется при изменении длины волны. Столь высокая квантовая чувствительность может быть объяснена, по-видимому, тем, что при действии одного кванта МРЛ проявляется агрегат из нескольких МК. В то же время при действии видимого излучения для сообщения способности к проявлению одному МК необходимо в среднем 20 - 100 фотонов.

Для расчета квантовой эффективности различения необходимо было также определить гранулярность фотопленики УФ-ВР при действии МРЛ. Гранулярность, как меру неоднородности плотности почернения, принято оценивать с помощью метода среднеквадратичной гранулярности, квадрат которой определяется как дисперсия плотности. Используемая в работе методика основана на непрерывном фотометрировании вращающегося образца фотопленики с последующей обработкой сигнала блоком электронных устройств /4/. Ошибка измерений не превышала 10%. Из приведенных на рис. 2 данных следует, что среднеквадратичная гранулярность фотопленики УФ-ВР слабо зависит от природы действующего излучения (МРЛ и видимого света).

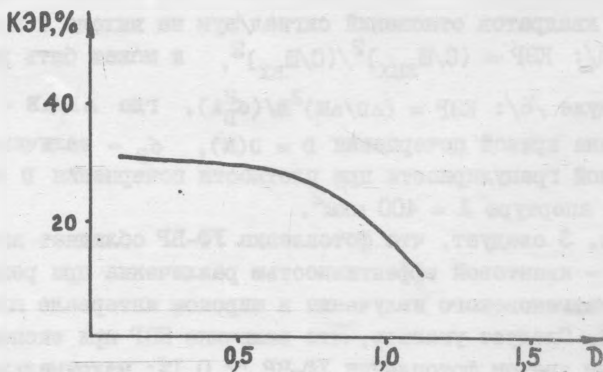
Полученные данные были использованы для расчета квантовой эффективности различения (КЭР), которая является общепринятым критерием качества детектора излучения. КЭР определяется как отношение квадратов отношений сигнал/шум на выходе и на входе системы /5/: $KЭР = (C/\Pi_{ВЫХ})^2 / (C/\Pi_{ВХ})^2$, и может быть рассчитана по формуле /6/: $KЭР = (\Delta D / \Delta E)^2 E / (\sigma_D^2 A)$, где $\Delta D / \Delta E$ - тангенс угла наклона кривой почернения $D = D(E)$, σ_D - величина среднеквадратичной гранулярности при плотности почернения D и измерительной апертуре $A = 400 \text{ мкм}^2$.

Из рис. 3 следует, что фотопленика УФ-ВР обладает высокой - более 30% - квантовой эффективностью различения при регистрации мягкого рентгеновского излучения в широком интервале плотностей почернения. Следует указать, что величина КЭР при экспонировании видимым светом фотопленики УФ-ВР $\sim 0,1\%$; максимальные значения КЭР фотослоев, экспонированных светом, не превышают 1-2% /7/.

Форма кривой зависимости КЭР от плотности почернения при действии МРЛ близка к теоретически предсказанной для случая, когда достаточно одного фотона, чтобы МК $AgNaI$ приобрел способность к проявлению /3/.



Р и с. 2. Зависимость величины среднеквадратичной гранулярности (σ_D) от плотности почернения (D) для фотоэмульсии УФ-ВР, экспонированной МРИ (I) и светом (II). Площадь измерительной апертуры $A = 400 \text{ мм}^2$



Р и с. 3. Зависимость квантовой эффективности различения (КЭР) от плотности почернения (D) для фотоэмульсии УФ-ВР, экспонированной МРИ

Результаты работы позволяют предположить, что существуют довольно широкие возможности увеличения квантовой эффективности разлучения, то есть лучшего соотношения сенситометрических и структурометрических свойств фотоматериалов, применяемых для регистрации мягкого рентгеновского излучения.

Поступила в редакцию
23 марта 1978 г.

Л и т е р а т у р а

1. А. А. Кологривов, Ю. А. Михайлов, Г. В. Склизков, С. И. Федотов, А. С. Шиканов, М. Р. Шпольский, "Квантовая электроника", 2, 2223 (1975).
2. Н. Г. Басов, Д. А. Захаренков, Н. Н. Зорев, А. А. Кологривов, О. Н. Крохин, А. А. Рупасов, Г. В. Склизков, А. С. Шиканов, ЭТФ, 71, 1788 (1976).
3. К. Миз, Т. Джеймс, "Теория фотографического процесса" изд. "Химия", М., 1973 г.
4. И. Г. Минкевич, Кандидатская диссертация, Госниикимфотопроект, М., 1971 г.
5. H. J. Zweig, Journ. Opt. Soc. Amer., 53, 310 (1961).
6. R. C. Valentine, "Adv. in Opt. and Electron. Microscopy", Acad. Press, N.-Y., vol. 1 (1966).
7. К. В. Вендровский, А. И. Вейцман, В. М. Пташенчук, Журнал научной и прикладной фото- и кинематографии, 17, 426 (1972).