

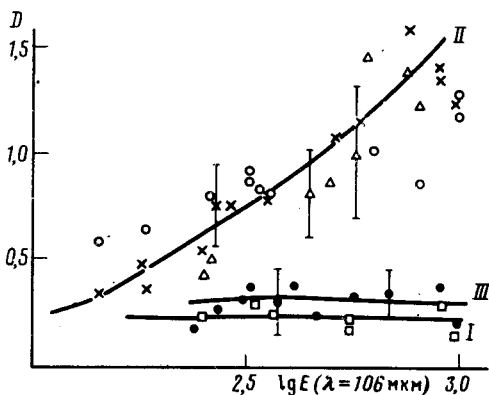
ПИКОСЕКУНДНАЯ КИНЕТИКА ПЕРВИЧНЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ СКРЫТОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ В МИКРОКРИСТАЛЛАХ ГАЛОИДНОГО СЕРЕБРА

И.О. Старобогатов, А.Г. Беляев, С.В. Виноградов,
Б.С. Непорент, С.Д. Николаев, Д.И. Стаселько, В.Б. Шилов

Методом пикосекундной спектроскопии обнаружено, что наиболее быстрые первичные процессы образования центров скрытого изображения в микрокристаллах $\text{AgBr}(\text{J})$ протекают за времена порядка пикосекунд и сопровождаются затухающим за сотни пикосекунд очувствлением системы к длинноволновому излучению. Предложена модель кинетики явления.

В недавних исследованиях с наносекундными импульсами света ^{1,2} было установлено, что первичные электронные фотопроцессы в микрокристаллах галоидного серебра протекают за времена короче 10^{-8} с. В предлагаемой работе кинетика этих процессов впервые исследована при пикосекундном разрешении, которое определяется малой длительностью ($\Delta t = 3 - 7$ пс) действующих импульсов света, а также величиной плавно регулируемой задержки δt (пс) между первым, возбуждающим процесс импульсом, и вторым, по действию которого определяется состояние системы. Это действие характеризуется изменением почернения проявленной фотоземлюсии, содержащей исследуемые микрокристаллы.

Эксперименты были проведены на комплексе ПУЛС (пикосекундный универсальный лазерный спектрометр) ³. В использованной эмульсии типа ВРП микрокристаллы $\text{AgBr}(\text{J})$ поперечником около 35 нм взвешены в желатиновом слое толщиной 6 мкм. Первый, актиничный импульс (третья или вторая гармоники Nd-лазера) $\lambda = 0,35$ мкм (3,54 эВ) для несенсибилизированной эмульсии или $\lambda = 0,53$ мкм (2,34 эВ) для сенсибилизированной к зеленой области фокусировался на эмульсии в виде кружка $d \approx 0,4$ мм, а второй, неактиничный импульс основной частоты того же лазера $\lambda = 1,06$ мкм (1,17 эВ) – в виде малого кружка $d \approx 0,1$ мм, расположенного внутри первого. Интенсивности каждого импульса, измеряемые с помощью оптико-акустического приемника ⁴ или прибора ФПМ-02, регулировались светофильтрами. Плотность почернения D_a над вуалью, вызываемая первым, актиничным импульсом с плотностью энергии порядка 10^{-3} Дж/см², составляла $D_a \approx 0,2 - 0,4$. Плотность энергии второго, неактиничного импульса изменялась от нуля до значения $E_H \approx 1$ Дж/см², при котором этот импульс в отсутствие первого не вызывал заметного почернения D_H эмульсии. Проявление эмульсии – стандартное, плотности почернения измерялись микрофотометром.



Зависимость плотности почернения фотоматериала от логарифма энергии ИК импульса: кривая I – отрицательная задержка (–30 пс) ИК импульса, кривая II – задержка ИК импульса равна нулю (x), 30 пс (o), 150 пс (Δ) кривая III – задержка ИК импульса 420 пс (●)

Результаты эксперимента для сенсибилизированной эмульсии (первый импульс $\lambda = 0,53$ мкм) приведены на рисунке, где показаны зависимости плотности почернения D_{a+H} при действии обоих импульсов от E_H для разных задержек δt : – 30 пс (□), 0 пс (x), 30 пс (o), 150 пс (Δ)

и 420 пс (●). Из приведенных данных следует, что при опережении ($\delta t = -30$ пс) неактивный импульс не оказывает влияния на почернение, вызванное активным ($D_{a+H} \approx D_H$ при всех значениях E_H). При совпадении импульсов во времени неактивное облучение вызывает резкое увеличение почернения D_a , достигающее четырех — пятикратного ($D_{a+H} \approx 4-5 D_a$) при плотности энергии $E_H \sim 1$ Дж/см², т.е. наблюдается явление, обратное эффекту Гершеля. При увеличении запаздывания второго импульса это явление ослабляется: при $\delta t = 420$ пс избыточное почернение D_{a+H} лишь немного превышает D_a .

Аналогичные результаты были получены в случае $\lambda = 0,35$ мкм, а также при использовании несенсибилизированной эмульсии и при действии цуга импульсов (≈ 20 пс) на установке, описанной в ⁵ при $\lambda = 0,53$ мкм и $\lambda = 1,06$ мкм. Отсюда следует, что кинетика наблюдаемых явлений определяется процессами в микрокристаллах AgBr(J) независимо от того, действует ли возбуждающее излучение в полосе собственного поглощения микрокристаллов, или же в области спектральной сенсibilизации.

Полученные данные можно объяснить, предполагая существование в изучаемых микрокристаллах двух типов ловушек, расположенных ниже зоны проводимости на расстоянии меньшем 1,17 эВ. Первые ловушки представляют центры чувствительности, образующие в дальнейшем скрытое изображение, а вторые — рекомбинационные центры, в которых время жизни электронов до рекомбинации составляет примерно $\tau \approx 400$ пс, что следует из зависимости эффекта от задержки δt . После перехода под действием активничного излучения из валентной зоны в зону проводимости электроны быстро распределяются между центрами в отношении 1: 4 — 1: 5 в пользу рекомбинационных. Действие неактивного излучения снова переводит фотоэлектроны из центров в зону проводимости, причем переход из центров чувствительности значительно менее вероятен, чем из рекомбинационных. В результате происходит перекачка электронов в центры чувствительности. По мере уменьшения заселенности центров рекомбинации при возрастании δt эффект увеличения почернения ослабляется, а при значениях $\delta t \gg 400$ пс должен наступить "нормальный" эффект Гершеля вследствие не компенсируемой обратным процессом переброски электронов из центров чувствительности в зону проводимости, а затем в рекомбинационные центры.

Таким образом впервые получены экспериментальные данные об электронных процессах в микрокристаллах галогенидосеребряных эмульсий, нарастающих за времена порядка единиц пикосекунд и затухающих за сотни пикосекунд, которые существенным образом влияют на образование центров скрытого изображения. Кроме того, установлена чрезвычайно быстрая (за времена, не превышающие единиц пикосекунд) передача возбуждения от молекул сенсibilизатора кристаллической решетке галогенида серебра.

Литература

1. *Deri R.J., Spoonhower J.P., Hamilton J.F.* J. Appl. Phys., 1985, 57, 1968.
2. *Бенкен А.А., Михайлов В.Н., Стаселько Д.Н.* Письма в ЖТФ, 1984, 10, 569.
3. *Непорент Б.С., Щилов В.Б.* Изв. АН СССР, серия физическая, 1987, 52, №8.
4. *Разумова Т.К., Старобогатов И.О.* Тепловые приемники излучения. Тезисы докладов IV Всесоюзного семинара по тепловым приемникам излучения. Ленинград, 1983. Изд. ГОИ им. С.И.Вавилова, 1983, с. 29.
5. *Николаев С.Д., Старобогатов И.О., Стаселько Д.Н.* Всесоюзная конференция "Физические процессы в светочувствительных системах на основе солей серебра". Тезисы докладов. Кемерово, КемГУ, 1986, ч.1 с. 110.
6. *Frasier G.F., Welkerson T.D., Lindsay J. M.* Appl. Opt., 1976, 15, 1350.

Поступила в редакцию

15 июня 1987 г.