

УДК 538.97:538.958

DOI: 10.17223/00213411/62/10/88

В.В. ОВЧИННИКОВ^{1,2}, К.В. ШАЛОМОВ^{1,2}, Е.В. МАКАРОВ¹, В.И. СОЛОМОНОВ^{1,2}, С.О. ЧОЛАХ²

О НЕЗАВИСИМОСТИ ТЕМПЕРАТУРЫ ТЕРМИЧЕСКИХ ПИКОВ В ЧИСТЫХ МЕТАЛЛАХ ОТ ЭНЕРГИИ И АТОМНОЙ МАССЫ ИМПЛАНТИРУЕМЫХ ИОНОВ

Спектры оптической эмиссии чистых металлов Fe, Zr, Ta и W измерялись в процессе облучения ионами Ag^+ , Kr^+ и Xe^+ (5, 10, 15 и 20 кэВ). Установлено, что энергия и тип иона в указанном диапазоне энергий не оказывают заметного влияния на профиль спектров тепловой эмиссии этих мишеней и соответственно на температуру термических пиков, образующихся в зонах прохождения плотных каскадов атомных смещений. Показано, что постоянный температурный режим термических пиков ($T = \text{const}$) реализуется, когда средний радиус R каскадной области пропорционален корню квадратному из энергии падающего иона ($R \sim \sqrt{E}$) и выделение основной части тепловой энергии происходит на периферии каскада, имеющей фиксированную протяженность. В результате энергия на атом среды, выделяемая в этой области, не меняется с изменением энергии иона и радиуса каскада. Наряду с этим показано, что температура термических пиков для всех типов ионов существенно зависит от материала мишени.

Ключевые слова: металлы, ионное облучение, каскады атомных смещений, термические пики, свечение.

Введение

Свечение конденсированных сред в оптическом диапазоне длин волн под воздействием ионного облучения (ионно-индуцированное фотонное излучение, или ПИФ) является предметом большого числа научных исследований. Спектры свечения содержат как дискретные линии, так и широкие полосы непрерывного излучения. Для объяснения особенностей спектров свечения предложены различные модели, среди которых можно выделить столкновительную модель, модель переноса заряда, модель разрыва связи, экранирующую модель и другие [1–3]. Механизмы, учитывающие эмиссию квантов возбужденными частицами, выбитыми из поверхности мишени и бомбардирующими ионами, объясняют только происхождение дискретных полос свечения [4–7]. Понятно, что любое неравновесное излучение, генерируемое вне твердого тела, может быть только дискретным (ввиду отсутствия квазинепрерывных энергетических полос).

Согласно [1, 8], ни одна из предложенных теоретических моделей не позволяет объяснить все особенности свечения, инициируемого ионным облучением, и адекватно описать его спектр, содержащий как дискретные, так и широкие непрерывные полосы излучения.

В работах [8, 9] была выдвинута альтернативная гипотеза о том, что непрерывные полосы свечения связаны с неким равновесным (другими словами, тепловым) или, по крайней мере, с квазиравновесным излучением. Представлены весьма серьезные доказательства того, что источниками теплового излучения могут быть «термические пики», образующиеся в областях плотных (неразветвленных) каскадов атомных смещений, нагретых до 3000–6000 К и выше при тепловых давлениях от 5 до 40 ГПа.

При облучении ионами низких и средних энергий (1–100 кэВ) эти области располагаются, согласно расчетам Монте-Карло и молекулярной динамике, на глубине не более нескольких сотен нанометров. Поскольку глубина проникновения видимого излучения в металлы составляет $\sim \lambda/2$ (λ – длина волны излучения), термические пики можно наблюдать оптическими методами.

В работе [9] обнаружен факт слабой зависимости профиля спектра излучения для Fe и Al мишеней от энергии ионов Ag^+ . Численные расчеты на основе метода Монте-Карло и решения кинетических уравнений Больцмана [9] для тяжелых ионов Ag^+ , Kr^+ , Xe^+ ($E = 5–20$ кэВ) предсказывают гораздо более сильную зависимость $\lambda_m(E)$ ($\lambda_m(E)$ – длина волны излучения в максимуме спектральной плотности теплового свечения). В соответствии с законом смещения Вина: $T = b/\lambda_m$ (где $b = 0.002898$ м/К – постоянная Вина), обнаруженный факт слабой зависимости профиля спектра свечения от энергии тяжелого иона означает, что средняя температура термических пиков, образующихся в облучаемых мишенях, остается постоянной вне зависимости от энергии ионов.

Поскольку зоны плотных каскадов являются источниками мощных упругих или ударных посткаскадных волн [9], изучение параметров термических пиков является актуальной задачей и мо-

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала
«Известия высших учебных заведений. Физика»
осуществляется на платформе
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>