

МОДЕЛЬ КИНЕТИКИ ТЕРМОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ ДЛЯ ТЕРМОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ДОЗИМЕТРИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Данилкин М.^{1,2}, Керикмяэ М.², Луст А.², Применко А.³, Славин Г.⁴

¹Физический институт им. П.Н.Лебедева РАН, Москва, Россия,

²Институт химии Тартуского университета, Тарту, Эстония,

³НИЦ “Курчатовский институт”, Москва, Россия,

⁴АО Аспер Биотех, Эстония,

mihhail.danilkin@ya.ru

Термолюминесцентные детекторы (ТЛД) ионизирующих излучений измеряют интегральную дозу радиации и применяются для решения различных дозиметрических задач – от мониторинга доз облучения персонала и до контроля уровней радиации в окружающей среде. Каждая задача требует своих материалов: так, $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7\text{:Mn}$ с его идеальной тканеэквивалентностью подходит для персональных дозиметров, $\text{SrSO}_4\text{:Eu}$ с его высокой чувствительностью нужен для дозиметрии окружающей среды, а $\text{CaF}_2\text{:Mn}$ с чрезвычайно широким диапазоном измеряемых доз пригоден для дозиметрии при технологической обработке материалов и при радиационных авариях.

Общее свойство этих материалов – довольно широкий (хотя и у каждого свой) диапазон линейности по дозе. Линейность подразумевает квази-внутрицентровые процессы запасаения и особенно освобождения энергии, когда вклад побочных рекомбинационных процессов пренебрежимо мал. Исследования кинетики затухания люминесценции этих материалов при различных температурах показали, что затухание биэкспоненциально, притом времена затухания τ_1 и τ_2 систематически уменьшаются с ростом температуры. Такое поведение хорошо описывается системой двух линейных однородных дифференциальных уравнений, решением которых и будет наблюдаемая в эксперименте сумма двух экспонент. Зависимость τ_1 и τ_2 от температуры можно выразить через вероятности освобождения $W_{T0} \cdot \exp(-E_T/KT)$ и рекомбинации $W_{R0} \cdot \exp(-E_R/KT)$:

$$\ln(1/(\tau_1 \cdot \tau_2)) = \ln(W_{R0} \cdot W_{T0}) - (E_R + E_T)/KT, \quad (1)$$

$$1/\tau_1 + 1/\tau_2 = W_C + W_{R0} \cdot \exp(-E_R/KT) + W_{T0} \cdot \exp(-E_T/KT). \quad (2)$$

Температурная зависимость вероятности рекомбинации связана с транспортным барьером, природа которого в различных материалах

может быть несколько разной. Например, это структурированная валентная зона, разделённая на подзоны, что требует дополнительной энергии активации переноса дырки, а также дополнительные кулоновские барьеры из-за неполного экранирования электроном положительного заряда примеси, как у $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7\text{:Mn}$ [1], или же энергии активации транспорта H -центров в $\text{CaF}_2\text{:Mn}$. Несмотря на большие различия в механизмах термолюминесценции, предлагаемая модель очень хорошо описывает экспериментальные результаты и позволяет с высокой точностью симулировать пик термолюминесценции. Симуляция пика и его подгонка методом Монте-Карло позволяет уточнить параметры кинетики, полученные из измерений кривых затухания по уравнениям (1) и (2). Применимость предложенной кинетической модели продемонстрирована на примере двух различных материалов, $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7\text{:Mn}$ и $\text{CaF}_2\text{:Mn}$. Модель позволяет оценить, насколько пригодна оптическая стимуляция вместо термической для считывания детекторов: большая энергия активации рекомбинации делает оптическую стимуляцию неэффективной при комнатной температуре, требуется термо-оптическое считывание. Эта информация важна для построения новых компактных портативных дозиметрических систем.

1. Ratas, A., Danilkin, M., Kerikmäe, M., Lust, A., Mändar, H., Seeman, V., Slavin, G. $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7\text{:Mn}$ for dosimetry applications: traps and mechanisms. *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences*, 2012, **61**, 4, 279–295.