

07;10;12

Взрывная люминесценция тетранитропентаэритрита, инициированная электронным пучком

© Б.П. Адуев, Г.М. Белокуров, С.С. Гречин, Е.В. Тупицин

Кемеровский государственный университет

E-mail: lira@kemsu.ru

Кемеровский филиал Института химии твердого тела и механохимии

СО РАН

E-mail: filial@kemnet.ru

Поступило в Редакцию 4 марта 2004 г.

Представлены результаты спектрально-кинетических исследований свечения, сопровождающего взрывное разложение монокристаллов ТЭНа (тетранитропентаэритрит) в спектральном интервале 550–1000 nm при инициировании электронным пучком наносекундной длительности. Обнаружено два компонента сплошного спектра свечения, идентифицированных как люминесценция, сопровождающая реакцию взрывного разложения, а также линейчатый спектр молекулярного азота, возникающего в результате взрыва.

Применение сильноточных электронных пучков и мощных лазерных импульсов в сочетании с электрофизическими и оптическими методами регистрации с высоким временным разрешением позволило получить обширный экспериментальный материал о физико-химических процессах, протекающих при взрывном разложении азидов тяжелых металлов, относящихся к классу инициирующих взрывчатых веществ (ИВВ) [1–3].

Аналогичные эксперименты на вторичных взрывчатых веществах, к которым относится ТЭН, практически не проводились.

Эти материалы имеют более высокие пороги инициирования по сравнению с ИВВ, в связи с этим возрастают требования к мощности источника возбуждения.

Так, например, воздействие лазерного импульса на свободную поверхность ТЭНа не приводит к инициированию взрыва при максимально высоких значениях интенсивности [4]. Авторам работы [5] удалось осуществить инициирование образцов ТЭНа, прессованных под давлением 10^9 Pa из порошка с дисперсностью $S = 600 \text{ m}^2/\text{kg}$, при использовании

пучка электронов. Электронный пучок имел следующие параметры: средняя энергия электронов 250 keV, длительность импульса ~ 25 ns, плотность мощности $P > 4 \cdot 10^9$ W/cm².

Применяемая авторами [5] методика измерения позволила произвести измерение кинетики взрывного свечения образцов, но не дала информации о спектрах свечения.

В настоящей работе для инициирования ТЭНа использовался электронный пучок, аналогичный по параметрам применяемому в [5]. Для измерения спектрально-кинетических характеристик взрывного свечения применялась методика, базовыми элементами которой являются полихроматор и фотохронограф на базе электронно-оптического преобразователя (ЭОП). Данная методика позволила произвести измерение спектров взрывного свечения в спектральном интервале 550–1000 nm при взрыве одиночного образца с временным разрешением 20 ns, ограниченного длительностью импульса электронов.

В качестве объектов исследования использовались монокристаллы ТЭНа, размерами $3 \times 2 \times 1$ mm. Инициирование образцов осуществлялось в вакуумной камере при давлении остаточных газов 10^{-2} Pa и температуре 300 K. Образец приклеивался боковой поверхностью к проволочке, закрепленной на корпусе камеры. Облучаемая поверхность располагалась под углом 45° к электронному пучку и оптической оси измерительной схемы. Как показали измерения, наблюдаемый спектр свечения является сплошным и состоит из двух компонентов. Вначале наблюдается относительно короткое свечение, за которым следует более продолжительное свечение.

Если непосредственно перед кристаллом установить преграду в виде прозрачной пленки, то следом за сплошным спектром наблюдается также линейчатый спектр. Аналогичную картину можно наблюдать, если кристалл закреплен на массивной металлической подложке тыльной поверхностью по отношению к электронному пучку.

На рис. 1 представлена кинетика взрывного свечения, соответствующая последнему случаю, на длине волны $\lambda = 770$ nm, совпадающей с положением одной из спектральных линий.

Фронт нарастания первого компонента свечения соответствует длительности импульса пучка электронов. Отметим также, что если энергия пучка электронов не достигает порога инициирования взрыва, то наблюдается только первый компонент свечения. На рис. 2 представлены спектры свечения с учетом спектральной чувствительности

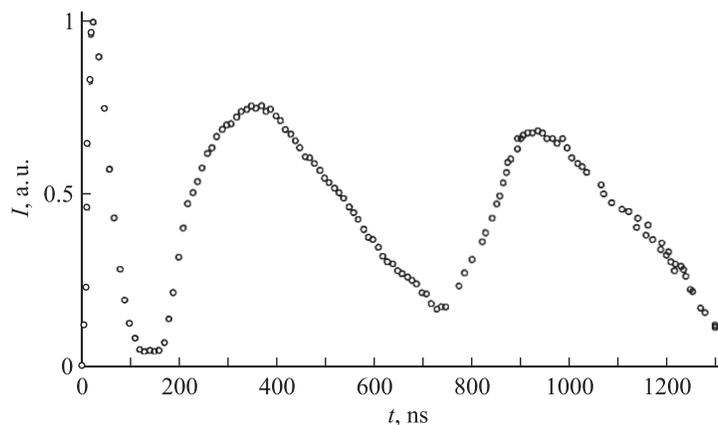


Рис. 1. Кинетика взрывного свечения монокристалла ТЭНа. $\lambda = 770$ nm. Два первых компонента соответствуют сплошным спектрам свечения, третий — линейчатому спектру.

регистрирующей системы в моменты времени, соответствующие максимумам свечения на рис. 1.

Очевидно, что линейчатый спектр (кривая 3, рис. 2) связан со свечением продуктов, возникающих в результате взрыва. Последние быстро разлетаются из поля зрения оптической системы, и их наблюдение возможно только в случае наличия механической преграды (прозрачная пленка или металлическая подложка). Наблюдаемые линии можно связать со свечением молекулярного азота [6].

Интерпретация компонентов сплошного спектра свечения вызывает наибольшие трудности. Очевидно, его можно связать со свечением кристалла, возникающим в результате реакции взрывного разложения.

Первый вопрос, на который мы попытались ответить, связано ли это свечение с тепловым излучением, возникающим в результате нагрева образца в процессе развития реакции взрывного разложения?

Наши эксперименты показывают, что спектры первого и второго компонентов совпадают (кривые 1 и 2 рис. 2), что свидетельствует об одинаковой природе обоих компонентов свечения.

Если свечение является тепловым, то исходя из длительности первого компонента следует предположить, что нагрев образца до высокой температуры происходит во время импульса возбуждения с последующим остыванием за время $< 10^{-7}$ s. Такой процесс представля-

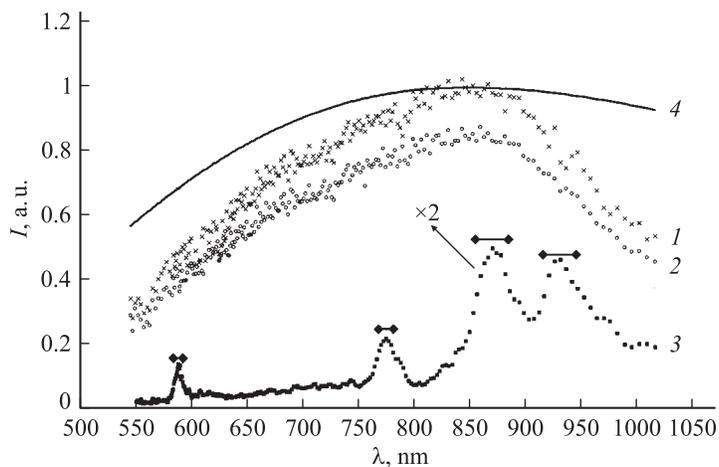


Рис. 2. Спектры взрывного свечения монокристалла ТЭНа: 1 — $t = 20$ ns, 2 — $t = 350$ ns, 3 — $t = 930$ ns от начала импульса инициирования; 4 — расчетный спектр свечения абсолютно черного тела при температуре 3440 К.

ется маловероятным, так как теплопроводностью при нагреве образцов при воздействии мощными электронными пучками во временном интервале 10^{-7} – 10^{-6} s можно пренебречь [7]. Этот процесс происходит за времена 10^{-5} – 10^{-4} s [7].

Первый компонент сплошного спектра свечения может трактоваться как радиолуминесценция, возникающая под действием импульса возбуждения.

Кроме того, если свечение является тепловым, то можно воспользоваться законом смещения Вина и по положению максимума спектра рассчитать температуру свечения. В нашем случае $\lambda_{\max} = 850$ nm (рис. 2), следовательно $T = 3440$ К. Далее по формуле Планка можно рассчитать спектр излучения черного тела, который представлен на рис. 2 (кривая 4). Как следует из рисунка, экспериментально измеренный спектр свечения нельзя аппроксимировать тепловым.

Согласно оценкам, сделанным в работе [5], температура образца на момент окончания импульса возбуждения составляет ~ 1100 К. Если эта оценка верна, то спектр теплового излучения образца должен быть сдвинут в ИК область вне зоны спектральной чувствительности экспериментальной аппаратуры.

Таким образом, совокупность изложенных фактов позволяет сделать однозначный вывод, что наблюдаемое свечение следует интерпретировать как люминесценцию кристалла ТЭНа, возникающую в процессе развития реакции взрывного разложения.

Отметим также, что были проведены эксперименты на прессованных образцах, аналогичных применяемым в [5]. Полученные результаты качественно не отличаются от результатов, полученных на монокристаллах.

Можно утверждать, что кинетика люминесценции отражает кинетику реакции взрывного разложения кристаллов ТЭНа. Для установления механизма реакции взрывного разложения и природы связанной с ней люминесценции необходимы дополнительные исследования. Однако сходство спектрально-кинетических характеристик взрывного разложения азидов тяжелых металлов [1–3] и ТЭНа позволяет предположить, что начальная стадия реакции взрывного разложения в ТЭНе развивается по цепному механизму. Аналогичный подход развивается в теоретической работе [8], где предложен экситонный механизм цепной реакции взрывного разложения вторичных взрывчатых веществ и проведен расчет для гексогена.

Список литературы

- [1] Адуев Б.П., Алукер Э.Д., Белокуров Г.М. и др. // ЖЭТФ. 1999. Т. 116. N 5(11). С. 1676–1693.
- [2] Kuklja M.M., Aduev B.P., Aluker E.D., Krashenin V.I., Krechetov A.G., Mitrofanov A.Yu. // Journal of Applied Physics. 2000. V. 89. N 7. P. 4156–4166.
- [3] Адуев Б.П., Алукер Э.Д., Белокуров Г.М. и др. Предвзрывные явления в азидах тяжелых металлов. М.: ЦЭИ „Химмаш“, 2002. 116 с.
- [4] Бриш А.А., Галлеев И.А., Зайцев Б.П. // Физика горения и взрыва. 1966. Т. 2. № 3. С. 132–138.
- [5] Корепанов В.И., Лисицын В.М., Олешко В.И. и др. // Письма в ЖТФ. 2003. Т. 29. В. 16. С. 23–28.
- [6] Пирс Р., Гейдон А. Отождествление молекулярных спектров / Пер. с англ. Под ред. С.Л. Мандельштама, М.Н. Аленцева. М.: Изд-во иностр. лит., 1949. 240 с.
- [7] Блейхер Г.А., Кривобоков В.П., Пащенко О.В. Тепломассоперенос в твердом теле под действием мощных пучков заряженных частиц. Новосибирск: Наука, 1991. 121 с.
- [8] Kuklja M.M., Stefanovich E.V., Kunz A.B. // Journal of Chemical Physics. 2000. V. 112. N 7. P. 3417–3423.