

04;10

Спектрально-кинетические характеристики продуктов взрывного разложения азида серебра

© Б.П. Адуев, Д.Э. Алукер, 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 22 марта 2005 г.

Изучены спектрально-кинетические характеристики продуктов взрывного разложения азида серебра при инициировании взрыва электронным пучком (0.5 MeV , 1 kA/cm^2 , 20 ns). Показано, что после стадии предвзрывной люминесценции наблюдается сплошной спектр свечения плотной плазмы продуктов взрыва, форма которого трансформируется во временном интервале $0.6\text{--}0.9 \mu\text{s}$, что может быть связано с саморазогревом плазмы от 3000 до 3600 K в результате экзотермической реакции $2\text{N}_3 \rightarrow 3\text{N}_2$.

В наших предыдущих работах изучалось взрывное свечение монокристаллов азида серебра при импульсном инициировании лазерными и электронным пучками [1–3]. Было показано, что начальная стадия реакции взрывного разложения развивается по цепному механизму и сопровождается предвзрывной люминесценцией, которая может служить индикатором развития реакции [1,2]. Спектрально-кинетические характеристики свечения имеют следующие особенности. Во время воздействия импульса возбуждения наблюдается первый компонент со сплошным спектром (радиолуминесценция), после которого наблюдается предвзрывная люминесценция со сплошным спектром. С ростом плотности возбуждения возрастает интенсивность радиолуминесценции и сокращается время нарастания предвзрывной люминесценции в интервале $\sim 0.5 \pm 0.1 \mu\text{s}$ [3]. Во временном интервале $> 1 \mu\text{s}$ наблюдается линейчатый спектр, который идентифицирован как свечение возбужденных молекул азота [2]. Показано, что спектр радиолуми-

несценции и спектр предвзрывной люминесценции, по крайней мере, на возрастающем участке кинетики совпадают, что свидетельствует о том, что химическая реакция, отвечающая за взрывное разложение азида серебра, запускается непосредственно возбуждающим импульсом [3].

В настоящей работе проведено более подробное исследование спектрально-кинетических характеристик свечения второго компонента сплошного спектра.

Объектом исследования служили монокристаллы азида серебра с характерными размерами $3 \times 3 \times 1$ мм. Образец помещался в вакуумированную экспериментальную камеру под давлением 10^{-2} Па при $T = 295$ К. Инициирование осуществлялось электронным пучком с эффективной энергией электронов ~ 0.25 MeV, плотностью тока пучка 1 кА/см², длительностью импульса 20 ns. Регистрация спектров свечения при взрыве единичного образца в спектральном интервале 550 – 1000 nm осуществлялась на аппаратурном комплексе, базовым элементом которого являются спектрограф ИСП-51 и фотохронограф ФЭР-7. Аппаратурный комплекс и методика эксперимента подробно описаны в [2].

Учет спектральной характеристики измерительного тракта производился по методу эталонной лампы накаливания с известной цветовой температурой.

Временное разрешение в условиях эксперимента составляло 50 ns и определялось применяемой разверткой фотохронографа.

На рис. 1 представлена кинетика взрывного свечения на длине волны $\lambda = 810$ nm.

В исследованном временном интервале наблюдаются два компонента сплошного спектра: радиoluminesценция (максимум свечения при $t = 50$ ns) и последующее взрывное свечение. Нормированные спектры свечения для некоторых моментов времени представлены на рис. 2.

Как показала обработка результатов измерений, спектры свечения первого компонента и второго компонента во временном интервале 0.2 – 0.6 μ s совпадают (рис. 2), что согласуется с нашими предыдущими результатами [3]. Во временном интервале > 0.6 μ s наблюдается изменение спектров свечения, причем на сплошной спектр накладываются линии свечения возбужденных молекул азота при $\lambda = 770$ и 810 nm (рис. 2).

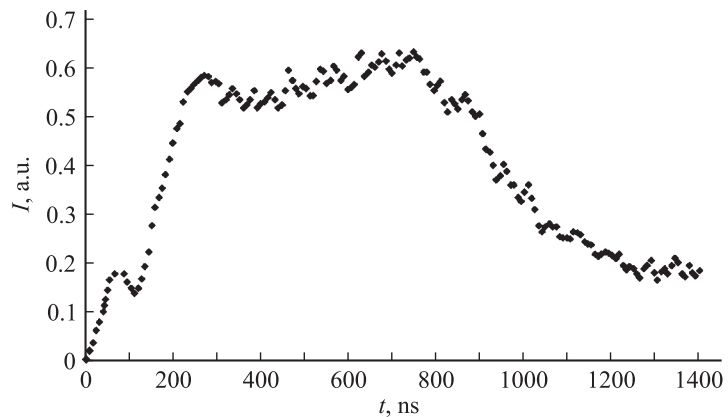


Рис. 1. Кинетика интенсивности взрывного свечения азидов серебра $\lambda = 810$ нм в относительных единицах (rel. unit).

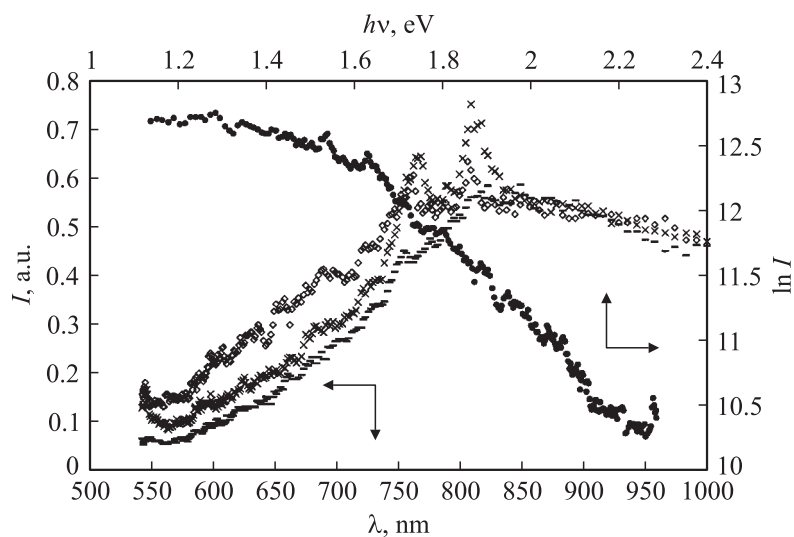


Рис. 2. Спектры взрывного свечения азидов серебра в различные моменты времени от начала импульса возбуждения: — — 500 нс (спектры в интервале 50–600 нс совпадают в пределах погрешности эксперимента); \times — 700 нс; \diamond — 850 нс; \bullet — 850 нс спектр построен в полулогарифмических координатах $\ln I = f(h\nu)$. Аппроксимация линейного участка в интервале 1.6–2.2 эВ по формуле (2) дает $T = 3600$ К.

Этот результат можно интерпретировать следующим образом.

В результате развития реакции взрывного разложения кристалл разлагается и через $\sim 0.5 \mu\text{s}$ после инициирующего импульса переходит в стадию плотной плазмы со сплошным спектром свечения. Примечательно, что спектр плазмы непрерывно трансформируется в указанном временном интервале. (Спад интенсивности свечения при $t > 1 \mu\text{s}$, по-видимому, связан с расширением и разлетом плазмы). Отметим также, что спектры свечения плазмы (рис. 2) не описываются формулой Планка.

Однозначную интерпретацию трансформации спектров свечения плазмы сделать затруднительно.

Возможно, что по мере развития реакции взрывного разложения вклад в интенсивность свечения дает как предвзрывная люминесценция части кристалла, так и увеличивающееся количество плотной плазмы, что приводит к наблюдаемому эффекту.

Второй вариант: превращение твердой фазы в плазму к моменту времени $t > 0.6 \mu\text{s}$ в основном закончилось, и трансформация спектров связана с процессами, происходящими непосредственно в плазме.

Свечение плазмы может быть связано с различными механизмами. В частности, может наблюдаться псевдонепрерывный спектр, если тесно расположенные полосы вследствие вызванного давлением уширения перекрывают друг друга [4].

Непрерывный спектр излучения может возникать при торможении свободных электронов в поле положительных ионов (свободно-свободные переходы), а также при захвате электронов ионами (свободно-связанные переходы). В последнем случае, согласно [4], интенсивность свечения не зависит от частоты излучения при малых частотах, которые достаточно удалены от границы серии ν_q .

В области частот $\nu > \nu_q$

$$I \sim \frac{1}{\sqrt{T}} e^{-\frac{h\nu}{kT}}, \quad (1)$$

где I — интенсивность свечения, $h\nu$ — энергия кванта излучения, T — абсолютная температура, k — постоянная Больцмана.

Отсюда по экспериментальной кривой в координатах

$$\ln I \sim \frac{1}{kT} h\nu \quad (2)$$

можно сделать оценку температуры плазмы.

Мы предприняли обработку результатов измерений спектров свечения для временного интервала $t > 600$ ns в рамках этой модели. Для иллюстрации на рис. 2 приведена кривая для момента времени $t = 850$ ns. Для временного интервала $0.6-0.9 \mu\text{s}$ обработка результатов дает изменение температуры плазмы от 3000 до 3600 К.

Таким образом, в рамках рассмотренной модели трансформация спектров свечения может быть связана с саморазогревом плазмы, образующейся в результате взрывного разложения азидов серебра.

Такой вариант возможен, если в результате взрыва одним из продуктов являются радикалы N_3 . В этом случае в плазме идет экзотермическая реакция $2\text{N}_3 \rightarrow 3\text{N}_2 + \sim 232 \text{ kcal}$ [5], приводящая к разогреву.

Отметим, что наша оценка температуры взрывного свечения плазмы AgN_3 коррелирует с экспериментально измеренной температурой продуктов взрыва некоторых бризантных взрывчатых материалов [6].

Авторы благодарны Э.Д. Алукеру за плодотворные дискуссии и полезные замечания при обсуждении результатов.

Список литературы

- [1] Адуев Б.П., Алукер Э.Д., Белокуров Г.М. и др. // ЖЭТФ. 1999. Т. 116. № 5 (11). С. 1676–1693.
- [2] Адуев Б.П., Алукер Э.Д., Белокуров Г.М. и др. Предвзрывные явления в азидовых тяжелых металлов. М.: ЦЭИ „Химмаш“, 2002. 116 с.
- [3] Адуев Б.П., Белокуров Г.М., Грецин С.С. и др. // Письма в ЖТФ. 2004. Т. 30. В. 18. С. 46–49.
- [4] Физика быстропротекающих процессов / Пер. под ред. Н.А. Златина Т. 1. М.: Мир, 1971. 519 с.
- [5] Боуден Ф., Иоффе А. Быстропротекающие реакции в твердых веществах. М.: Изд-во иностр. лит., 1962. 243 с.
- [6] Yoo C.S., Holmes H.C., Souers P.C. // Mat. Res. Soc. Symp. Proc. 1996. V. 418. P. 397–406.