

## СРОЧНОЕ СООБЩЕНИЕ

УДК 535:621.373.826:539:541.124:541.126:539.121.8

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ВЗРЫВНОГО СВЕЧЕНИЯ АЗИДОВ  
ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ПРИ ИМПУЛЬСНОМ ИНИЦИИРОВАНИИ  
ЛАЗЕРНЫМ И ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКАМИ

В. И. Корепанов, В. М. Лисицын, В. И. Олешко, В. П. Ципилев

Томский политехнический университет, 634050 Томск, root@tat.tsk.ru

Получены новые экспериментальные результаты по кинетике взрывного свечения азидов тяжелых металлов при возбуждении взрыва лазерным импульсом и электронным пучком, на основании которых идентифицирована природа взрывного разложения.

Ключевые слова: азиды тяжелых металлов, импульсное инициирование, взрывное свечение.

В [1, 2] сообщалось о наблюдении неизвестных ранее явлений, возникающих при импульсном инициировании взрывного разложения азидов тяжелых металлов. Речь идет о свечении и проводимости образцов в конце индукционного периода, но до момента их механического разрушения, т. е. о свечении и проводимости взрывчатых веществ (ВВ) в твердом состоянии. Эти явления названы предвзрывными, а их существование связывают с цепным характером процесса взрывного разложения.

К явлению предвзрывной люминесценции авторы [1, 2] относят существование первого максимума на двугорбой кривой взрывного свечения, наблюдаемого традиционным способом (наблюдения ведутся в объеме, превышающем размеры образца). Показано, что спектр первого всплеска свечения является сплошным с максимумом в диапазоне длин волн  $\lambda = 750 \div 850$  нм, а спектр второго — линейчатым (максимум в области  $\lambda = 500 \div 600$  нм). Руководствуясь этим, а также характером акустического сигнала, авторы отнесли первую составляющую к «холодной» люминесценции неразрушенного вещества.

Поскольку в опытах [1, 2] регистрировалась интегральная картина взрывного свечения, включающая свечение в облученном объеме, во всем объеме образца и за его пределами, то предположение о существовании предвзрывной люминесценции представляется недостаточно обоснованным. Для обоснованных вы-

водов о природе взрывного свечения необходимы сведения о процессах в зоне воздействия инициирующего пучка с выделением их из процессов, протекающих за пределами этой зоны.

С этой целью нами разработана новая методика измерения кинетики взрывного свечения и основных параметров процесса. При этом с помощью специальной схемы велась синхронная регистрация взрывного свечения только с облученного участка ВВ (с помощью зонного фотоэлектронного умножителя (ФЭУ)) и отдельно с облученного участка и за его пределами (ФЭУ панорамного обзора). Подробно методика измерений описана в [3].

В качестве источников инициирующего импульса (длительность  $\approx 20$  нс) использовались излучение неодимового лазера ( $\lambda = 1060$  нм) или пучок ускоренных электронов (энергия электрона 200 кэВ). Исследовались азиды свинца и серебра (прессованные порошки, макрокристаллы). Изучение кинетики взрывного разложения образцов различного типа выявило общие закономерности, которые отображены на рис. 1 и 2.

При уровнях лазерного воздействия выше пороговых наблюдается индукционный период, по окончании которого в зоне лазерного воздействия возникает короткая вспышка свечения с временной структурой, идентичной в различных областях спектра (кривые 2 и 3, рис. 1). Такая структура указывает на то, что взрывное свечение является однокомпонентным (в противном случае максимумы сигналов должны быть разнесены во времени). Поскольку к окончанию импульса свечения

Работа выполнена при финансовой поддержке совместной программы Министерства образования и Министерства обороны.

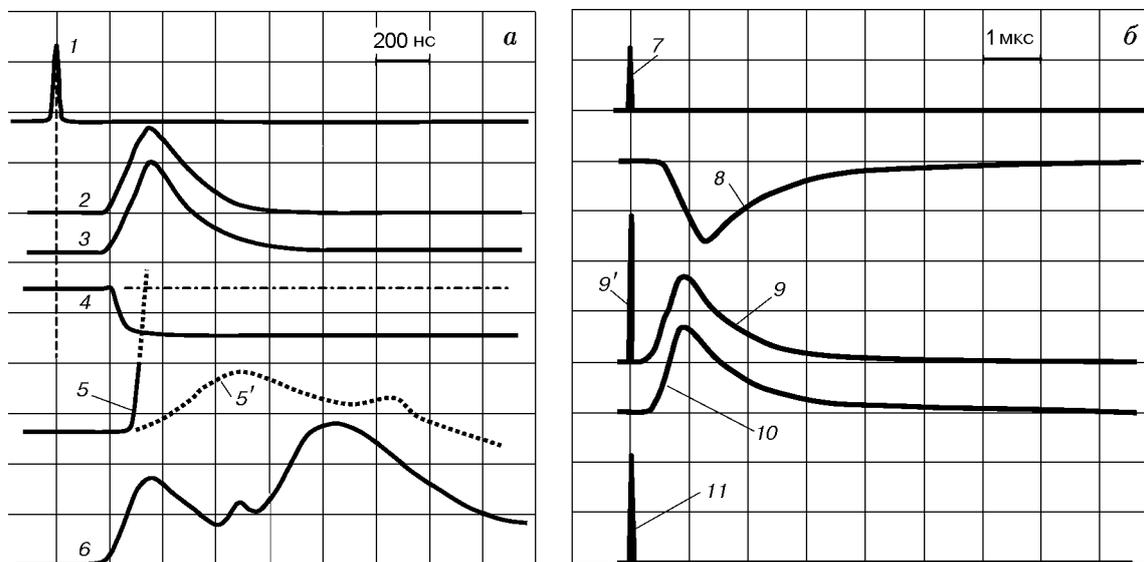


Рис. 1. Типичные осциллограммы взрывного свечения прессованных порошков азидов серебра толщиной 200 мкм при лазерном (а) и электронно-пучковом (б) инициировании взрыва:

плотность энергии близка к пороговой,  $H = 12$  (а),  $100 \text{ мДж/см}^2$  (б); а — образец в воздухе, б — в вакууме; 1 — лазерный импульс, 2 — свечение, наблюдаемое из зоны лазерного воздействия на длине волны  $\lambda = 800 \text{ нм}$ , 3 — то же при  $\lambda = 550 \text{ нм}$ , 4 — сигнал, отображающий движение облучаемой поверхности, 5 — фронт ударного сжатия, 5' — то же при 100-кратном ослаблении сигнала, 6 — свечение, наблюдаемое при панорамном обзоре, 7 — реперный импульс электронного пучка, 8 — свечение, наблюдаемое с тыльной поверхности образца (реперный импульс взрывного разложения), 9, 9' — свечение с открытой облучаемой поверхности (9' — импульс катодолуминесценции), 10 — то же при закрытии облучаемой поверхности металлической пленкой, 11 — то же с открытой поверхности в отсутствие взрыва

взрывное разложение можно считать законченным, то тепловая природа взрывного свечения вполне очевидна. В пользу этого свидетельствует и движение облучаемой поверхности образцов (кривая 4), которое начинается практически одновременно с появлением вспышки свечения и характеризуется относительно большой скоростью (более  $2000 \text{ м/с}$  по нашим оценкам), что однозначно связано с достижением достаточно высоких температур в реакционной зоне к этому моменту времени.

В сигналах панорамного ФЭУ (кривая 5) наблюдается два или три пика свечения, первый из которых имеет временное и спектральное соответствие с сигналом зонного ФЭУ, а последующие (растянутые) максимумы возникают после окончания разложения в засвеченной области. Таким образом, первый пик интегрального свечения отображает кинетику взрывного разложения в той области, где это разложение инициировалось, а все другие отображают процессы, происходящие вне этой области.

С увеличением плотности энергии воздействующего импульса  $H$  длительность вспыш-

ки взрывного свечения и длительность индукционного периода монотонно уменьшаются. При этом интенсивность свечения  $I$  и светосумма  $W = I\tau = \int I(t)dt$  (где  $\tau$  — характеристическое время свечения,  $t$  — текущее время) с ростом  $H$  заметно возрастают (см. рис. 2). Такая закономерность противоречит люминесцентной природе взрывного свечения, но достаточно легко находит объяснение в рамках тепловой, поскольку очевидно, что при увеличении  $H$  процесс взрывного разложения ускоряется и протекает при более высоких температурах  $T$ , а любое даже незначительное изменение температурного режима процесса неизбежно приводит к сильному изменению излучаемого светового потока ( $I \sim T^4$ ). Примечательно, что при всех значениях  $H$  фотолуминесценция образцов во время лазерного воздействия отсутствует.

Воздействие импульсом пучка ускоренных электронов приводит к несколько другим результатам. В этом случае, в отличие от лазерного воздействия, перед взрывным свечением (кривая 9) появляется пик свечения (кривая 9'), совпадающий с моментом облучения образ-

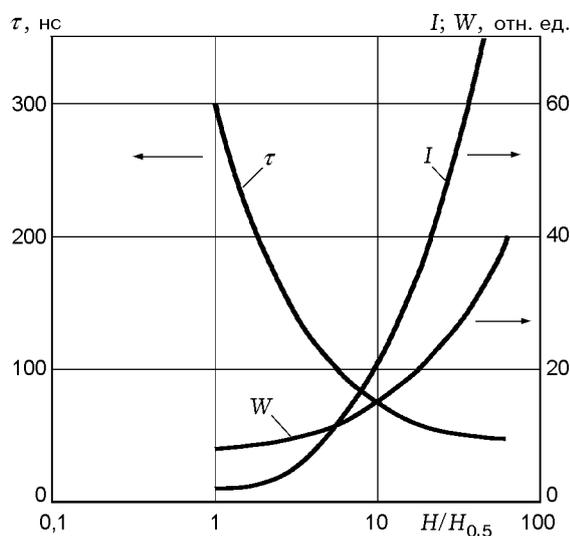


Рис. 2. Зависимость длительности  $\tau$ , интенсивности  $I$  и светосуммы  $W$  взрывного свечения от плотности энергии возбуждения:

$H_{0,5}$  — пороговое значение плотности энергии (уровень 50 %-й вероятности инициирования)

ца, длительность которого сопоставима с длительностью импульса радиации. При уровнях воздействия ниже пороговых этот пик свечения не исчезает (кривая 11). Исследование спектра этого свечения показало [4], что оно является обычной катодолюминесценцией, характерной для широкощелевых полупроводников. Очевидно, что катодолюминесценция не связана напрямую с процессом взрывного разложения, но ее высокая интенсивность, широкополосность и быстрое затухание [4] косвенно указывают на малую вероятность возникновения люминесцентных явлений в конце индукционного периода и на последующих этапах взрывного процесса.

Покрывание облучаемой поверхности образцов алюминиевой пленкой толщиной 10 мкм (пленка прозрачна для пучка электронов, но полностью отсекает люминесцентные составляющие в наблюдаемом свечении) приводит к исчезновению катодолюминесценции, но практически не отражается на кинетике взрывного свечения (ср. кривые 9 и 10). Такая ситуация легко объяснима в рамках теории плазменно-динамических источников излучения, если принять, что источником взрывного свечения является сверхзвуковой плазменный поток (скорость 2700 м/с [5]), для которого алюминиевая пленка не служит существенной преградой (время разрушения пленки менее 100 нс).

Таким образом, можно говорить об отсутствии люминесцентных составляющих в сигналах взрывного свечения и о соответствии кинетик взрывного разложения при лазерном воздействии и электронном, которое, в отличие от лазерного, характеризуется высокой исходной концентрацией электрон-дырочных пар. Повидимому, в обоих случаях взрывное разложение на всех стадиях своего развития (включая стадию зарождения центров реакции) идет не путем цепного размножения носителей заряда, а по тепловому очаговому механизму. Вероятная модель, пригодная для описания наблюдаемых явлений, изложена в [6].

В заключение отметим, что результаты проведенного исследования, хотя и дают однозначный ответ на вопрос о природе взрывного разложения, тем не менее не позволяют представить полную картину процесса, включая начальные стадии разложения, распространение фронта волны разложения, движение продуктов и пр. В настоящее время ведутся исследования характеристик этих процессов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Адуев Б. П., Алукер Э. Д., Белокуров Г. М. и др. Предвзрывные явления в азидах тяжелых металлов // Физика горения и взрыва. 2000. Т. 36, № 5. С. 78–89.
2. Предвзрывные явления в азидах тяжелых металлов / Ю. А. Захаров, Э. Д. Алукер, Б. П. Адуев, Г. М. Белокуров, А. Г. Кречетов. М.: ЦЭИ «Химмаш», 2002.
3. Ципилев В. П. Стенд для исследования кинетики взрывного разложения конденсированных сред // Изв. ТПУ. 2003. Т. 306, № 4. С. 99–103.
4. Корепанов В. И., Лисицын В. М., Олешко В. И., Ципилев В. П. Импульсная катодолюминесценция азидов тяжелых металлов // Письма в ЖТФ. 2002. Т. 28, вып. 24. С. 48–52.
5. Корепанов В. И., Лисицын В. М., Олешко В. И., Ципилев В. П. Исследование пространственно-временной структуры плазмы, образующейся при взрывном разложении  $\text{AgN}_3$  // Труды 3-й Междунар. конф. «Радиационно-термические эффекты и процессы в неорганических материалах». Томск, 2002. С. 130–132.
6. Александров Е. И., Ципилев В. П. Исследование влияния длительности импульса на чувствительность азидов свинца к действию лазерного излучения // Физика горения и взрыва. 1984. Т. 20, № 6. С. 104–109.

Поступила в редакцию 24/XII 2003 г.