



003067054

На правах рукописи

**НУРМУХАМЕТОВ Денис Рамильевич**

**ВЛИЯНИЕ РАДИАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ НА ПРЕДВЗРЫВНЫЕ  
ПРОЦЕССЫ В АЗИДАХ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ**

Специальность 02.00.04. «Физическая химия»

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

Кемерово 2006

Работа выполнена на кафедре физической химии ГОУ ВПО «Кемеровский госуниверситет» и в КФ ИХТТМ СО РАН.

Научный руководитель:	доктор физико-математических наук, профессор <b>Алукер Эдуард Давыдович</b>
Официальные оппоненты:	доктор технических наук, профессор <b>Лобойко Борис Григорьевич</b>  доктор физико-математических наук, профессор <b>Крашенинин Виктор Иванович.</b>
Ведущая организация:	<b>НИИ ядерной физики им. Д. В. Скобельцына МГУ им. М. В. Ломоносова</b>

Защита диссертации состоится "16" февраля 2007 г. в 10 часов на заседании совета по защите диссертаций Д 212.088.03 в Государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Кемеровский государственный университет» (650043, г. Кемерово, ул. Красная, 6).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГОУ ВПО «Кемеровский государственный университет».

Автореферат разослан "24" декабря 2006 г.

Ученый секретарь  
диссертационного Совета Д 212.088.03  
доктор химических наук, профессор



Е. И. Кагакин

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### Актуальность

Систематические исследования влияния ионизирующих излучений на материалы начались в середине прошлого века, практически одновременно с исследованиями в области ядерного оружия и ядерной энергетики

Если на первом этапе исследований подавляющее большинство работ было сконцентрировано на вопросах радиационной стойкости, т. е. на поиске путей минимизации «вредных» последствий облучения, то уже в конце 60-х – начале 70-х годов прошлого века заметное место начинают занимать исследования в области радиационных технологий, т. е. поиск путей использования ионизирующих излучений для управления свойствами материалов с целью придания им заранее заданных «полезных» свойств.

К настоящему времени радиационная обработка занимает достойное место в технологическом арсенале и интенсивность исследований в этой области не ослабевает, более того, идет непрерывное расширение сферы использования радиационных методов.

Интересна, в этом плане, ситуация с энергетическими материалами (взрывчатыми веществами). После обнаружения и исследования предвзрывных явлений, т.е. явлений, происходящих на начальных стадиях реакции взрывного разложения до начала разрушения образца (в течение так называемого индукционного периода), стало ясно, что на этих стадиях решающую роль играют процессы миграции и захвата электронных возбуждений кристаллической решетки (электронно-дырочные пары, экситоны), хорошо изученные в физике и химии твердого тела.

Это обстоятельство открывает принципиальную возможность использования для управления начальными стадиями взрывного разложения хорошо разработанного арсенала методов физики и химии твердого тела, включая радиационные методы. Однако, для реализации такой возможности необходимы предварительные исследования по влиянию облучения на предвзрывные процессы, причем естественно, что такие исследования целесообразно начинать на наиболее простых и изученных модельных системах – азидов тяжелых металлов (АТМ).

Вышеизложенное и определило задачу данной работы, посвященной изучению влияния радиационной обработки на ранние стадии реакции взрывного разложения азидов свинца и серебра

### Цели и задачи исследования

Целью работы являлось выяснение возможности управления начальными стадиями взрывного разложения АТМ (предвзрывными процессами) предварительной радиационной обработкой.

Достижение поставленной цели потребовало решения следующих задач

1. Изучение влияния радиационной обработки на кинетику предвзрывной проводимости.
2. Изучение влияния радиационной обработки на кинетику предвзрывной люминесценции.
3. Изучение влияния радиационной обработки на взрывную чувствительность при импульсном радиационном инициировании.

#### Научная новизна

Впервые проведено комплексное систематическое исследование влияния радиационной обработки на ранние стадии взрывного разложения азидов тяжелых металлов, позволившее получить новые результаты, изложенные в пунктах «Защищаемые положения» и «Основные результаты и выводы».

#### Защищаемые положения

1. Предварительная радиационная обработка влияет на кинетику предвзрывных процессов (проводимость, люминесценция) в азиде свинца и серебра.
2. Предварительная радиационная обработка влияет на взрывную чувствительность азиды свинца при инициировании импульсом электронного ускорителя.
3. Характеристики дозовых зависимостей скорости предвзрывных процессов и взрывной чувствительности совпадают: рост на начальных участках дозовых зависимостей, сменяющийся падением при дальнейшем увеличении дозы.
4. Влияние радиационной обработки на кинетику предвзрывных процессов и взрывную чувствительность качественно согласуется с моделью инициирования перезарядной реакционных центров.

#### Научная и практическая значимость

Полученные результаты свидетельствуют о возможности управления предвзрывными процессами радиационной обработкой, что открывает перспективы разработки радиационных методов управления свойствами ВВ.

#### Личный вклад автора

Результаты, изложенные в диссертации, получены автором в совместной работе с сотрудниками кафедры физической химии Кемеровского государственного университета, участие которых отражено в совместных публикациях. В совместных публикациях автору принадлежат результаты, сформулированные в разделах: «Защищаемые положения» и «Основные результаты» диссертационной работы.

### Объем и структура диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка цитируемой литературы, включающего 114 наименований.

Общий объем диссертации 123 страниц текста, включающих 59 рисунков и 1 таблицу.

Во введении обосновывается актуальность темы исследования и формулируются новизна, научная и практическая значимость, основные цели и задачи работы, а также выносимые на защиту положения

Первая глава представляет собой обзор литературных данных по влиянию радиационной обработки на люминесцентные и взрывные характеристики АТМ.

Вторая глава посвящена методическим вопросам: аппаратура для исследования кинетических характеристик взрывного свечения и взрывной проводимости, методике измерений и обработки результатов.

В третьей главе представлены результаты исследований влияния радиационной обработки на кинетику предвзрывных процессов в азиде серебра и свинца. На основании этих данных делается вывод о том, что радиационная обработка изменяет кинетику предвзрывной проводимости и предвзрывной люминесценции азидов серебра и свинца, что находится в качественном согласии с моделью перезарядки реакционных центров.

В четвертой главе излагаются результаты исследования влияния радиационной обработки на взрывную чувствительность азидов свинца и серебра. Показано, что дозовая зависимость взрывной чувствительности имеет немонотонный характер: рост чувствительности в области малых доз и спад – в области больших. Делается вывод о том, что полученные результаты можно рассматривать как прямое экспериментальное доказательство возможности управления взрывной чувствительностью АТМ радиационной обработкой.

В заключении формулируются основные результаты работы и намечаются перспективы дальнейших исследований.

### Апробация работы

Материалы диссертации доложены на Международной конференции «VII Забабахинские научные чтения», Снежинск, 2005; Международной конференции «Лаврентьевские чтения по математике, механике и физике», Новосибирск, 2005; V Международной конференции «Радиационно-термические эффекты и процессы в неорганических материалах», Томск, 2006, 13th international conference on radiation physics and chemistry of inorganic materials, Tomsk, 2006; III Всероссийской конференции «Энергетические конденсированные системы», Черногоровка, 2006, X международной школе-семинаре по «Люминесценции и лазерной физике», Иркутск, 2006

## КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность исследований, сформулированы цель и задачи работы, приведены основные положения, выносимые на защиту и дана краткая характеристика разделов диссертации.

Первая глава представляет собой обзор и анализ литературных данных по влиянию радиационной обработки на люминесцентные и взрывные характеристики азидов тяжелых металлов (АТМ).

*В первом разделе* главы рассматривается влияние радиационной обработки на радиoluminesценцию АТМ, *во втором* – на предвзрывную люминесценцию АТМ.

*Третий раздел* посвящен анализу кинетической модели инициирования.

*В четвертом разделе* рассмотрены материалы исследования по влиянию радиационной обработки на взрывную чувствительность АТМ.

*В пятом разделе* на основании проведенного анализа, обосновывается цель и формулируются задачи исследования.

Вторая глава посвящена методическим вопросам.

*В первом разделе* описываются объекты исследования: нитевидные кристаллы азидов серебра и свинца. По данным полярографии и комплексометрии, концентрация основных примесей (Fe, Si, Co, Mg, Al, Na) в исследуемых образцах не превышала  $10^{17}$  см<sup>-3</sup>.

*Во втором разделе* главы описана методика радиационной обработки. В качестве источников ионизирующего излучения использовались импульсный электронный ускоритель ГИН-540 (150 кэВ, 50 пс, 100 А/см<sup>2</sup>) и источник быстрых электронов «АРИНА» (энергия электронов 200 кэВ, длительность импульса 20 нс, частота повторения 10 Гц). В этом же параграфе дается описание дозиметрических измерений, осуществляемых при помощи аттестованных термoluminesцентных детекторов ТЛД-К.

*Третий раздел* посвящен описанию техники и методики эксперимента по измерению кинетических характеристик предвзрывной люминесценции. Инициирование образцов осуществлялось при помощи твердотельного пикосекундного YAG:Nd<sup>3+</sup> лазера, люминесценция регистрировалась фотоэлектронным умножителем 14ЭЛУ-ФМ, сигнал с фотоумножителя подавался на вход цифрового осциллографа TeKtronix TDS3032b.

*В четвертом разделе* описана методика измерения кинетики проводимости при лазерном инициировании. Описаны ячейки для крепления образцов и электрические схемы для регистрации тока проводимости.

*В пятом разделе* описывается методика синхронного измерения тока проводимости и акустического сигнала

В шестом разделе описывается методика определения влияния радиационной обработки на взрывную чувствительность АТМ.

Третья глава посвящена исследованию влияния радиационной обработки на кинетику предвзрывных процессов в нитевидных кристаллах азидов серебра и свинца

В первом разделе приводятся результаты исследования по влиянию радиационной обработки на кинетику взрывной проводимости азида серебра. Показано, что радиационная обработка меняет кинетику предвзрывной проводимости и время появления проводимости продуктов взрыва. Изменение

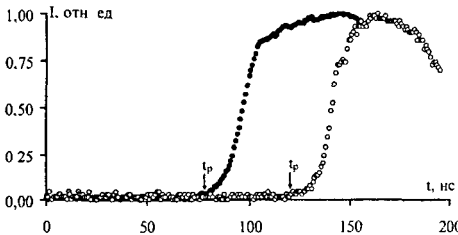


Рис 1. Проводимость продуктов взрыва нитевидных кристаллов азидов серебра. Типичная кинетика токового импульса в бесконтактной схеме при величине зазора между образцом и электродом 50 мкм. Кривые нормированы по интенсивности в максимуме. Плотность энергии инициирования 80 мДж/см<sup>2</sup>. ● — необлученные образцы, ○ — образцы, облученные дозой 800 кРад.  $t_p$  — время появления надежно регистрируемого сигнала

времени появления проводимости продуктов взрыва является следствием изменения кинетики на предыдущей стадии — предвзрывной.

Образец крепился в измерительной ячейке на стеклянной подложке. Использовались две схемы измерений. Контактная, при которой концы образца находились в контакте с электродами, и бесконтактная, при которой между одним из концов образца и электродом находился регулируемый зазор 0,05–2 мм. При использовании контактной схемы регистрировалась, как предвзрывная проводимость, так и проводимость продуктов взрыва, бесконтактная же схема позволяла регистрировать только проводимость продуктов взрыва (после замыкания зазора в результате разлета продуктов взрыва). Использование бесконтактной схемы эксперимента, позволяет исключить предвзрывную проводимость и регистрировать только проводимость продуктов взрыва.

Из данных, приведенных на рис. 1, видно, что кинетика проводимости в этом случае представляет собой ассиметричный колокол с крутым передним фронтом длительностью ~30 нс. Сигнал проводимости появляется с временной задержкой —  $t_p$  относительно иницирующего импульса.

Радиационная обработка приводит к увеличению величины  $t_p$ , крутизна же переднего фронта при этом не меняется (рис. 1).

Величина  $t_p$  состоит из двух слагаемых – длительности предвзрывной стадии –  $t_0$  и времени пролета продуктов взрыва до электрода –  $\tau_p$ :

$$t_p = t_0 + \tau_p. \quad (1)$$

Для отдельного определения величин  $t_0$  и  $\tau_p$  использовался следующий прием.

При неизменных условиях иницирования была проведена серия экспериментов при различных величинах зазора между образцом и электродом, т.е. при постоянном  $t_0$  и изменяющемся  $\tau_p$  (рис.2).

Связь между величиной зазора  $s$  и временем задержки сигнала проводимости  $t_p$  (рис.2) хорошо

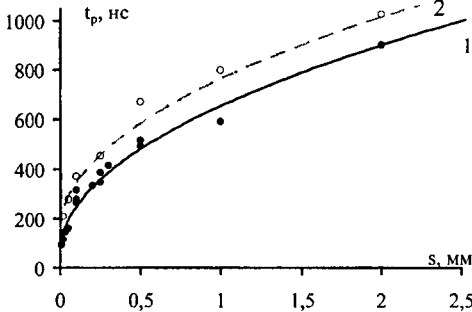


Рис. 2. Связь между временем появления надежно регистрируемого сигнала  $t_p$  и величиной зазора  $s$  1- необлученные образцы, 2-образцы, облученные дозой 800 кРад Точки – средние значения для 5 образцов, кривые – экстраполяция выражением  $t_p = t_0 + k \cdot \sqrt{s}$  при

$k = (2 \pm 0,1) \cdot 10^{-5} \text{ м}^{-1/2}\text{с}$ ,  $t_0 = 65 \pm 15 \text{ нс}$  для кривой 1 и  $k = (1,8 \pm 0,2) \cdot 10^{-5} \text{ м}^{-1/2}\text{с}$ ,  $t_0 = 160 \pm 50 \text{ нс}$  для кривой 2

аппроксимируется выражением:

$$t_p = t_0 + k \cdot \sqrt{s}. \quad (2)$$

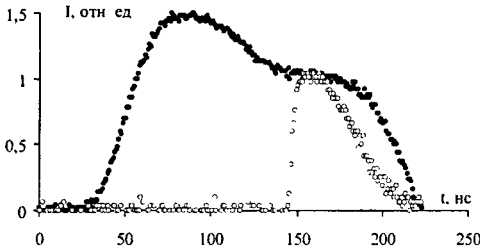


Рис. 3. Кинетика взрывной проводимости нитевидных кристаллов азид серебра Плотность энергии иницирования  $80 \text{ мДж/см}^2$ .

● – контактная схема измерения; ○ – бесконтактная схема измерения при величине зазора между кристаллом и электродом  $100 \text{ мкм}$

Кривые нормированы по интенсивности в момент времени, соответствующей максимуму кривой (○) Каждая кривая – результат усреднения по 5 образцам

Величина  $k$  составляет  $(1,9 \pm 0,2) \cdot 10^{-5} \text{ м}^{-1/2}\text{с}$  и в пределах погрешности не изменяется при радиационной обработке. Величина  $t_0$  для необлученных образцов составляет  $65 \pm 15 \text{ нс}$ , а для облученных дозой 800 кРад она составляет  $160 \pm 50 \text{ нс}$ , т.е. увеличивается при радиационной обработке (рис. 2).

Таким образом, данные, приведенные на рис. 2 свидетельствуют о том, что радиационная обработка изменяет длительность предвзрывной стадии ( $t_0$ ),



но не влияет на кинетику разлета продуктов ( $k$ )

Следующим этапом исследований было использование вместо бесконтактной схемы измерений контактной схемы, в которой регистрируется не только проводимость продуктов, но и предвзрывная проводимость и сопоставление результатов, полученных при контактных и бесконтактных измерениях (рис. 3).

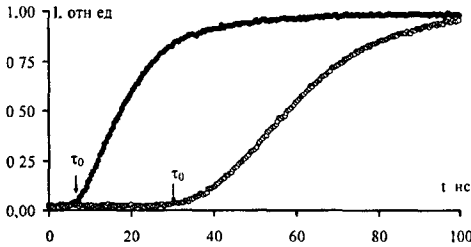


Рис. 4 Кинетика предвзрывной проводимости азидов серебра. Плотность энергии иницирования  $100 \text{ мДж/см}^2$ . Кривые нормированы по максимальной интенсивности.

● — необлученный образец, ○ — образец, облученный дозой  $800 \text{ кРад}$   $\tau_0$  — время появления надежно регистрируемого сигнала

Сопоставление этих данных показывает, что начальный участок кинетической кривой, который наблюдается только при измерениях по контактной схеме, соответствует предвзрывной проводимости, т.е. проводимости еще не разрушенного образца. Именно этот участок кинетической кривой и был использован в опытах по изучению влияния радиационной обработки на предвзрывную проводимость.

Радиационная обработка влияет на кинетику предвзрывной проводимости (рис. 4): изменяется крутизна переднего фронта импульса предвзрывной проводимости и временная задержка между иницирующим импульсом и появлением сигнала проводимости.

Для количественного описания этого эффекта использовалось два параметра:  $\tau_0$  — промежуток времени между иницирующим импульсом и появлением надежно регистрируемого сигнала предвзрывной проводимости (рис. 4) и  $\alpha$  — величина, получаемая при аппроксимации переднего фронта токового сигнала экспоненциальной зависимостью  $I \sim \exp \alpha(t - \tau_0)$ . Физический смысл величины  $\tau_0$  — время перекрытия очагов цепной реакции в образце, приводящей к образованию сплошного проводящего канала,  $\alpha$  — константа скорости цепной реакции размножения дырок.

Дозовые зависимости  $\tau_0$  и  $\alpha$  представлены на рис. 5. Из этих данных видно, что облучение приводит к замедлению скорости цепной реакции с ростом дозы облучения (рост  $\tau_0$  и падение  $\alpha$ ).

Уменьшение скорости цепной реакции в области больших доз хорошо коррелирует с увеличением времени задержки появления сигнала проводимости продуктов взрыва при радиационной обработке (рис. 1.) и подтверждает правильность физической интерпретации величины  $\tau_0$  в выражении (1)

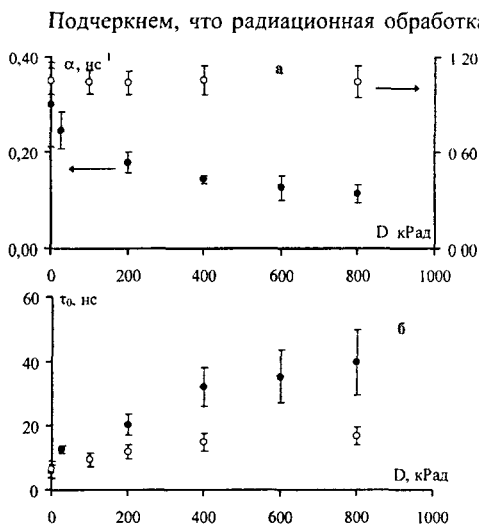


Рис 5. Дозовые зависимости кинетических характеристик предвзрывной проводимости азида серебра. Каждая точка – результат усреднения по 5 образцам  
а – константа скорости  $\alpha$ ,  
б – время появления надежно регистрируемого сигнала проводимости  $\tau_0$

● – плотность энергии иницирования  $100 \text{ мДж/см}^2$ ,  
○ – плотность энергии иницирования  $600 \text{ мДж/см}^2$ ,

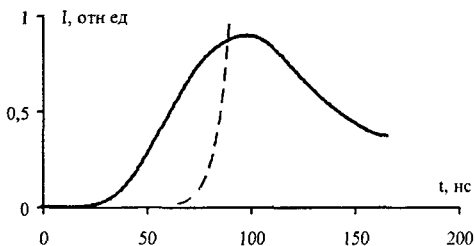


Рис 6. Кинетика взрывной проводимости азида свинца. Сплошная линия – сигнал проводимости, пунктир – акустический сигнал

влияет только на предвзрывную стадию: меняется крутизна переднего фронта импульса проводимости в контактной схеме (рис. 4). На стадии разлета продуктов радиационная обработка не влияет: не меняется крутизна переднего фронта импульса проводимости в бесконтактной схеме (рис. 1). Увеличение времени появления сигнала проводимости в бесконтактной схеме в результате радиационной обработки (рис. 1) является просто следствием затяжки предвзрывной стадии (рис. 4, 5б).

При увеличении энергии иницирующего импульса дозовая зависимость величин  $\alpha$  и  $\tau_0$  становится слабее.

*Второй раздел* посвящен исследованию влияния радиационной обработки на предвзрывную проводимость азид свинца.

Ранее предвзрывная проводимость была обнаружена в азиде серебра и все исследования этого явления были выполнены также на этом объекте. Поэтому, прежде чем приступить к исследованию влияния радиационной обработки на кинетику предвзрывной проводимости в азиде свинца, необходимо было убедиться в том, что это явление

ние (предвзрывная проводимость) наблюдается и в этой системе. Для этого наиболее удобно, использовать методический прием, предложенный ранее для азида серебра. Образец крепился на входном окне акустического датчика, и проводилась синхронная регистрация сигналов проводимости образца и переднего фронта акустического сигнала, свидетельствующего о начале разрушения образца. Синхронизация сигналов осуществлялась по реперным импульсам, возникающим при воздействии инициирующего лазерного импульса на образец и акустический датчик.

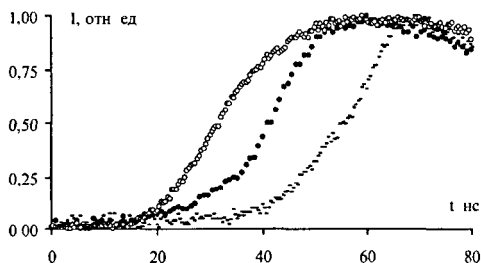


Рис 7 Кинетика предвзрывной проводимости азид свинца. Плотность энергии иницирования 100 мДж/см<sup>2</sup>. Кривые нормированы по максимальной интенсивности.

● — необлученный образец, ○ — образец, облученный дозой 80 кРад; — — образец, облученный дозой 800 кРад

Результаты оказались аналогичны данным, полученным ранее на азиде серебра (рис. 6). Передний фронт акустического сигнала отстает от начала токового импульса. Это свидетельствует о том, что передний фронт токового сигнала соответствует проводимости еще не разрушенного образца, т. е. предвзрывной проводимости. Кинетика нарастания проводимости на этом участке хорошо аппроксимируется выражением

$$I \sim \exp \alpha(t - \tau_0).$$

Полученный результат позволяет использовать для исследования влияния радиационной обработки на кинетику предвзрывных процессов в азиде свинца тот же подход, который мы использовали для азид серебра.

Так же как и в случае азид серебра, в азид свинца радиационная обработка влияет на кинетику предвзрывной проводимости (рис. 7). изменяется крутизна переднего фронта импульса предвзрывной проводимости и временная задержка между инициирующим импульсом и появлением сигнала проводимости.

Как видно из данных рис 7 зависимости  $\tau_0$  и  $\alpha$  от дозы облучения для азид свинца не монотонны. Более отчетливо этот эффект проявляется на дозовых зависимостях, представленных на рис. 8: увеличение скорости цепной реакции в области малых доз (падение  $\tau_0$  и рост  $\alpha$ ) и замедление в области больших доз (рост  $\tau_0$  и падение  $\alpha$ ).

Третий раздел посвящен изучению влияния радиационной обработки на предвзрывную люминесценцию азида серебра.

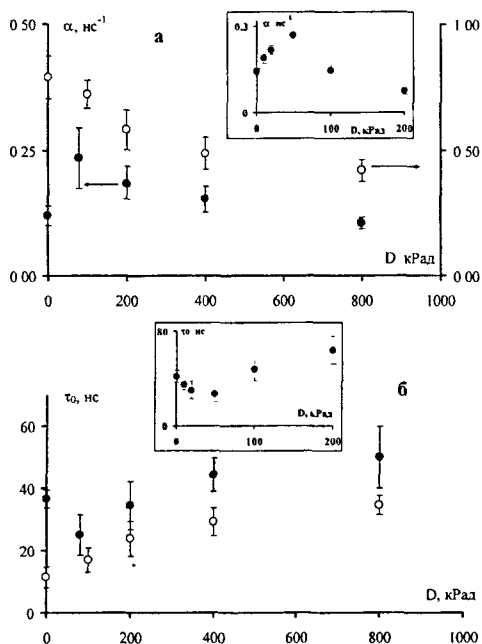


Рис 8. Дозовые зависимости кинетических характеристик предвзрывной проводимости азида свинца (на вставках начальный участок для образцов другого синтеза) Каждая точка – результат усреднения по 5 образцам.

а – константа скорости  $\alpha$ , б – время появления надежно регистрируемого сигнала проводимости  $\tau_0$

● – плотность энергии иницирования 100 мДж/см<sup>2</sup>,  
○ – плотность энергии иницирования 600 мДж/см<sup>2</sup>.

ки.

Это связано с тем, что, как было показано ранее, заметная проводимость появляется только после перекрывания очагов реакции и образования сплошного проводящего канала, а люминесценцию в очагах реакции можно наблюдать и без их перекрывания.

В связи с этим, величина  $\tau_0$  не имеет такого четкого физического смысла, как в случае проводимости (время образования сплошного проводящего

Ранее было установлено, что кинетика предвзрывной проводимости и предвзрывной люминесценции весьма сходны и отражают кинетику развития цепной реакции взрывного разложения. Поэтому естественно было ожидать, что характер влияния радиационной обработки на кинетику предвзрывной люминесценции будет аналогичен случаю предвзрывной проводимости.

Действительно, как и в случае предвзрывной проводимости, радиационная обработка влияет на кинетику нарастания предвзрывной люминесценции (рис. 9), причем величина эффекта немонотонно зависит от дозы: при малых дозах скорость нарастания увеличивается, при больших – падает (рис. 9).

В отличие от предвзрывной проводимости, люминесцентный сигнал появляется вслед за иницирующим импульсом, без четко выраженной задержки.

канала), а является техническим параметром (амплитуда сигнала достигает 0,1 от максимального).

Для характеристики дозовой зависимости эффекта, как и в случае проводимости, мы выбрали дозовые зависимости величин  $\alpha$  и  $\tau_0 - \alpha(D), \tau_0(D)$  (рис. 10).

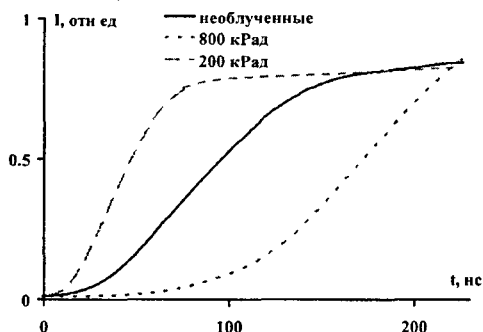


Рис 9 Кинетика предвзрывной люминесценции азиды серебра. Плотность энергии инициирования 15 мДж/см<sup>2</sup>. Кривые нормированы по максимальной интенсивности.

приводятся результаты исследования влияния предвзрывную люминесценцию азиды свинца.

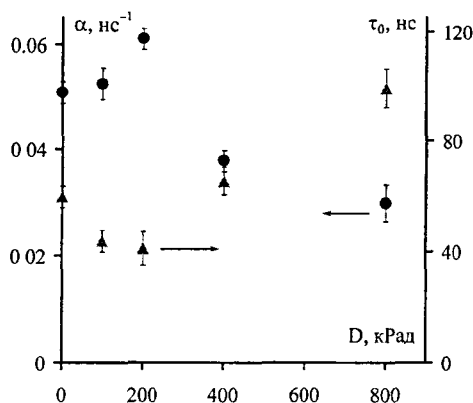


Рис 10 Дозовые зависимости константы  $\alpha$  предвзрывной люминесценции азиды серебра и времени появления надежно регистрируемого сигнала люминесценции  $\tau_0$ . Каждая точка – результат усреднения по 5 образцам.

Видно, что в отличие от случая проводимости (рис. 5) эти зависимости немонотонны. Обращает на себя внимание, однако, что характер  $\alpha(D)$  и  $\tau_0(D)$  для люминесценции азиды серебра (рис 10) качественно аналогичен зависимости этих параметров для предвзрывной проводимости азиды свинца (рис. 8).

В четвертом разделе радиационной обработки на азиде серебра, дозовые зависимости параметров, характеризующих скорость развития цепной реакции взрывного разложения ( $\alpha$  и  $\tau_0$ ), оказываются аналогичными, как для предвзрывной проводимости (рис. 8), так и для предвзрывной люминесценции (рис. 11). Таким образом, результаты, представленные на рис. 8, 10, 11, свидетельствуют о наличии следующей закономерности: радиационная обработка приводит к ускорению развития реакции взрывного разложения в области малых доз и к замедлению – в области больших доз. Из этой закономерности выпадают данные для предвзрывной проводимости азиды серебра, где в исследованном интервале

предвзрывной проводимости азиды серебра, где в исследованном интервале

доз наблюдается только монотонное падение скорости процесса (рис. 5). Это связано с тем, что в условиях нашего эксперимента, в этом случае нам удалось зарегистрировать только спадающую ветвь дозовой зависимости.

В *этом разделе* проводится анализ полученных результатов.

Основной результат может быть сформулирован следующим образом: предварительная обработка изменяет скорость реакции взрывного разложения на твердофазной (пред-

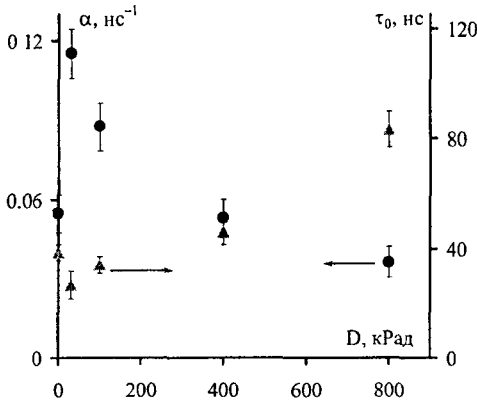


Рис 11. Дозовые зависимости константы  $\alpha$  предвзрывной люминесценции азида свинца и времени появления надежно регистрируемого сигнала люминесценции  $\tau_0$ . Каждая точка – результат усреднения по 5 образцам.

взрывной) стадии процесса: в области малых доз скорость увеличивается, в области больших – уменьшается

Согласуется ли этот результат с кинетической моделью инициирования перезарядкой реакционных центров<sup>1</sup>?

Согласно этой модели роль иницирующего импульса заключается в генерации достаточного количества электронов, обеспечивающих перевод необходимого числа реакционных центров в заряженное состояние, что приводит к увеличению сечения захвата

дырок на этих центрах на 2-3 порядка.

Выражение для константы скорости цепной реакции размножения дырок  $\alpha$  в этом случае имеет следующий вид:

$$\alpha = V [\alpha \sigma^- N^- + \sigma^0 N - g], \quad (3)$$

где  $V$  – тепловая скорость дырки,  $\sigma^-$  и  $\sigma^0$  – сечение захвата дырки на заряженный и нейтральный центр, соответственно,  $N^-$  и  $N$  – концентрации заряженных (захвативших электрон) и нейтральных реакционных центров,  $\alpha$  – константа ( $\alpha < 0,5$ ),  $g$  – интегральное сечение исчезновения дырок по конкурирующим каналам ( $g = \sum \sigma_i N_i$ , где  $\sigma_i$  и  $N_i$  – сечения и концентрация нерекционных центров).

При малых дозах обычно преобладают эффекты перезарядки существующих дефектов (рост  $N^-$  в нашем случае), а при больших дозах – создание новых радиационных дефектов (т. е. в нашем случае увеличение  $g$ ). Поэтому

<sup>1</sup> Алукер Э. Д. Диваксионная модель иницирования азидов тяжелых металлов / Б.П. Алуев Э. Д. Алукер А. Г. Кречетов // Физика горения и взрыва – 2004 – т. 40 – №2 – С. 94-99

при малых дозах предварительного облучения следует ожидать увеличения чувствительности, а при дальнейшем увеличении дозы – уменьшения

Это предсказание модели хорошо согласуется с данными (рис 8, 10, 11), которые, в связи с этим, можно рассматривать в качестве серьезного довода в пользу ее адекватности

*В шестом разделе* формулируются основные результаты третьей главы.

1. Радиационная обработка не изменяет кинетику разлета продуктов взрыва.

2. Радиационная обработка изменяет кинетику предвзрывной проводимости и предвзрывной люминесценции азидов серебра и свинца. Общий характер влияния радиационной обработки на скорость предвзрывных процессов: увеличение скорости в области малых доз и падение – в области больших доз.

3. Характер влияния радиационной обработки на кинетику предвзрывных процессов в азидах серебра и свинца находится в качественном согласии с кинетической моделью иницирования перезарядкой реакционных центров, основанной на учете изменения сечения захвата дырок на реакционных центрах при их перезарядке.

Четвертая глава посвящена исследованию влияния радиационной обработки на взрывную чувствительность АТМ.

*В первом разделе* проводится анализ возможностей управления взрывной чувствительностью в рамках модели перезарядки реакционных центров. Показано, что изменяя концентрации актуальных центров, можно управлять взрывной чувствительностью: увеличение концентрации реакционных центров повышает чувствительность, а увеличение концентрации конкурирующих дефектов – понижает.

*Во втором разделе* приведены результаты исследования по влиянию радиационной обработки на взрывную чувствительность азидов свинца при иницировании импульсом электронного ускорителя.

Полученные экспериментальные результаты (рис. 12) подтверждают возможность управления взрывной чувствительностью азидов свинца путем предварительной радиационной обработки: облучение малыми дозами повышает чувствительность, большими – понижает.

Этот результат коррелирует с данными по влиянию предварительного облучения на кинетику предвзрывной проводимости и люминесценции

*В третьем разделе* проведены аналогичные исследования на азиде серебра.

Результаты качественно согласуются с данными, полученными для азидов свинца. Как и в азиде свинца, зависимость чувствительности от дозы

предварительного облучения имеет немонотонный характер. рост чувствительности в области малых доз и падение – при больших дозах.

*В четвертом разделе* проводится анализ результатов по влиянию радиационной обработки на взрывную чувствительность.

Основной экспериментальный результат – предварительная радиационная обработка влияет на взрывную чувствительность азидов свинца и серебра, причем дозовая зависимость величины эффекта немонотонна и имеет общий характер для обеих систем: увеличение чувствительности в области малых доз и падение – в области больших доз.

Характер дозовых зависимостей взрывной чувствительности (рис. 12) и параметров, характеризующих скорость нарастания предвзрывной проводимости и предвзрывной люминесценции (рис. 8, 10, 11), совпадают: рост скорости и чувствительности в области малых доз и спад – в области больших.

Такой характер дозовых зависимостей находит естественное объяснение в рамках модели инициирования перезарядкой реакционных центров.

При небольших дозах предварительного облучения превалирует перезарядка реакционных центров (захват электронов), приводящая к увеличению потока дырок на реакционные центры, увеличивающему, как скорость цепной реакции, так и, соответственно, чувствительность.

При больших дозах начинают преобладать процессы радиационного создания новых дефектов, которые увеличивают вероятность «бесполезного» стока дырок по конкурирующим каналам, что приводит к падению как скорости развития реакции, так и чувствительности.

Изменение соотношения скоростей перезарядки дорадиационных дефектов и радиационного

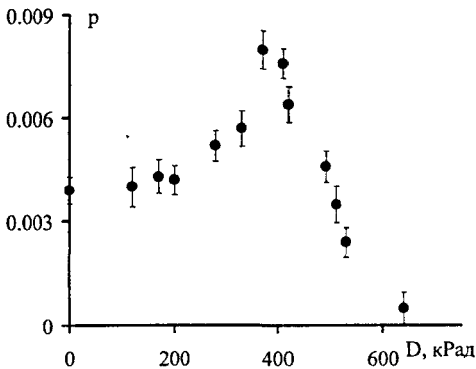


Рис. 12 Зависимость вероятности взрыва азид свинца ( $p$ ) от дозы предварительного облучения ( $D$ ) при иницировании импульсами электронного ускорителя (доза в импульсе 5 кРад)

создания новых дефектов с увеличением дозы в пользу последних хорошо известно в радиационной физике.

Возможность интерпретации всей совокупности полученных экспериментальных данных с единой точки зрения, как нам представляется, является серьезным доводом в пользу адекватности предложенного объяснения.

*В пятом разделе* формулируются основные результаты главы.



1. Радиационная обработка влияет на взрывную чувствительность азидов свинца и серебра при импульсном инициировании

2. Дозовая зависимость взрывной чувствительности имеет немонотонный характер: увеличение чувствительности в области малых доз и падение – в области больших.

3. Полученные дозовые зависимости находятся в качественном согласии с моделью инициирования перезарядкой реакционных центров.

4. Полученные результаты можно рассматривать как прямое экспериментальное доказательство возможности управления взрывной чувствительностью АТМ радиационной обработкой.

В заключении формулируются основные результаты и выводы работы.

1. Обнаружена предвзрывная проводимость азидов свинца.

2. Показано, что радиационная обработка влияет на скорость предвзрывных процессов в азидов серебра и свинца. Дозовая зависимость эффекта немонотонна: рост скорости в области малых доз и падение - в области больших доз.

3. Показано, что радиационная обработка влияет на взрывную чувствительность азидов свинца при инициировании импульсом электронного ускорителя. Дозовая чувствительность эффекта немонотонна: рост чувствительности в области малых доз и спад – в области больших доз.

4. Результаты по влиянию радиационной обработки на кинетику предвзрывных процессов и взрывную чувствительность на качественном уровне хорошо согласуются с моделью инициирования перезарядкой реакционных центров.

5. Радиационная обработка может служить методом целенаправленного воздействия на предвзрывные процессы в АТМ, т. е. использоваться для управления их свойствами.

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Нурмухаметов, Д. Р. Влияние радиационной обработки на чувствительность азидов свинца / Д. Р. Нурмухаметов, В. Н. Швайко // Письма в ЖТФ. – 2006. – Т.32. – вып.1. – С. 55-57.
2. Алукер, Э. Д. Влияние радиационной обработки на чувствительность азидов серебра / Д. Р. Нурмухаметов, Э. Д. Алукер, Д. Э. Алукер, В. Н. Швайко // Физика горения и взрыва. – 2006. – Т.42 – № 2. – С. 116-120.
3. Алукер, Э. Д. Влияние радиационной обработки на кинетику предвзрывной люминесценции азидов серебра и азидов свинца / Д. Р. Нурмухаметов, Э. Д. Алукер, А. Ю. Митрофанов // В кн.: Труды V Международной конференции «Радиационно-термические эффекты и процессы в неорганических материалах». – Томск: Изд. ТПУ. – 2006г. – С.138-141.
4. Aluker, E. D. An Experimental Checking Of A Divacancy Model Of Initiating Heavy Metal Azides / D. R. Nurmukhametov, E. D. Aluker, A. G. Krechetov, A. Yu. Mitrofanov, B. G. Loboiko, et al. // Proceedings Of The VII. Seminar “New Trends In Research Of Energetic Materials”. – Pardubice. – Czech Republic. – April 20 – 22. – 2004. – Part 2. – pp. 419-423.
5. Нурмухаметов, Д. Р. Влияние радиационной обработки на чувствительность азидов серебра / Д. Р. Нурмухаметов, В. Н. Швайко // Тезисы докладов Международной конференции «Лаврентьевские чтения по математике, механике и физике». – Новосибирск. – 2005 – С.187-188.
6. Алукер, Э. Д. Взрывное разложение азидов серебра: влияние температуры и радиационной обработки / Д. Р. Нурмухаметов, Э. Д. Алукер, Е. В. Тупицин, В. Н. Швайко // Тезисы Международной конференции «VII Забалахские научные чтения». – Снежинск. – 2005. – С. 73.
7. Митрофанов, А. Ю. Зависимость кинетики предвзрывной люминесценции азидов серебра и свинца от дозы предварительной радиационной обработки / Д. Р. Нурмухаметов, А. Ю. Митрофанов, // Тезисы докладов X Международной школы-семинара по «Люминесценции и лазерной физике». – Иркутск. – 2006. С.64-65.
8. Белокуров, Г. М. Влияние радиационной обработки на характеристики импульсного инициирования азидов тяжелых металлов / Д. Р. Нурмухаметов, Г. М. Белокуров, А. Ю. Митрофанов, В. Н. Швайко // Материалы III Всероссийской конференции “Энергетические конденсированные системы”. – Черноголовка-Москва. – 2006. – с.136-137.
9. Nurmukhametov, D. R. Effect of Preliminary Irradiation on the Detonation Sensitivity of Silver Azide and Lead Azide / D. R. Nurmukhametov, V. N. Shvayko // 13th International Conference on radiation physics and chemistry of inorganic materials. – Tomsk. – 2006 – pp 225-226

Подписано к печати 7.11.2006

Формат 60x84 <sup>1/16</sup> Бумага офсетная №1

Печать офсетная. Усл. печ. л. 1,25. Тираж 100 экз. Заказ № 194/930

---

ГОУ ВПО «Кемеровский госуниверситет» 650043, г. Кемерово, ул. Красная, 6.

Отпечатано в типографии издательства «Кузбассвуиздат».

650043, г. Кемерово, ул. Ермака, 7. Тел 58-34-48