

09

Возможность инициирования полимерсодержащего энергонасыщенного состава комплексного перхлората ртути лучом лазерного диода

© С.И. Герасимов^{1,2,3}, М.А. Илюшин⁴, В.А. Кузьмин^{2,3}

¹ Саровский физико-технический институт НИЯУ МИФИ, Саров

² Российский федеральный ядерный центр — Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики, Саров

³ Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Нижний Новгород

⁴ Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)

E-mail: s.i.gerasimov@mail.ru

Поступило в Редакцию 6 октября 2014 г.

Впервые изучено оптическое инициирование зарядов светочувствительного энергонасыщенного комплекса — перхлората ртути (II) с 1-Н-5-гидразинотетразолом как лигандом лучом лазерного диода ($\lambda = 445$ nm). Показано, что световое излучение вызывает взрыв в энергонасыщенном составе ВС-2 на базе комплекса ртути и оптически прозрачного полимера. Измерены порог инициирования и времена задержки воспламенения состава ВС-2 в зависимости от энергии лазерного луча. Предложен механизм инициирования комплексного перхлората ртути.

Электрический метод взрывания зарядов энергетических материалов стал основным в XX веке благодаря своей универсальности, быстродействию и надежности. Недостатком этого способа инициирования является чувствительность электродетонаторов к зарядам статического электричества, блуждающим токам и действию электромагнитных полей. Как альтернатива электрическому способу взрывания может быть рассмотрено световое инициирование первичных зарядов, которое представляется перспективным способом проведения взрывных работ, отличающимся повышенной безопасностью. При инициировании зарядов энергетических материалов световым импульсом достаточно

большой мощности обеспечивается надежная защита схемы от ложных подрывов, поскольку в оптическом диапазоне, как правило, отсутствуют случайные источники с мощностью, достаточной для подрыва светодетонатора. Светодетонаторы нечувствительны к электромагнитным наводкам в цепях подрыва, зарядам статического электричества и прочим нештатным условиям эксплуатации [1–3].

В представленной работе приведены результаты изучения взаимодействия энергонасыщенного состава ВС-2 с лучом лазерного диода.

Получение комплексного перхлората ртути (II) с 1-Н-5-гидразинотетразолом как лигандом приведено в патенте [4]. При приготовлении энергонасыщенного светочувствительного состава ВС-2 в качестве инертной матрицы (связующего) использовали оптически прозрачный полимер — сополимер 2-метил-5-винилтетразола (~98%) и метакриловой кислоты (~2%) (ПВМТ) (ТУ 38-403-208-88) в количестве $10 \pm 1.5\%$ от массы металлокомплекса. Смешение компонентов проводили по методу, приведенному в патенте [5]. Испытания энергонасыщенных составов проводили в латунных колпачках диаметром 5 mm и высотой 2 mm. Подробно свойства светочувствительного комплекса ртути, а также светочувствительного состава ВС-2 приведены в работе [1].

Ранее было изучено взаимодействие светочувствительного состава ВС-2 с импульсным излучением твердотельных неодимовых лазеров ($\lambda = 1.06 \mu\text{m}$) в режиме как моноимпульса, так и свободной генерации. Время задержки зажигания состава ВС-2 в режиме моноимпульса ($\tau = 10 \text{ ns}$) не превышало 400 ns, в режиме свободной генерации ($\tau = 30 \mu\text{s}$) изменялось от 1 до $15 \mu\text{s}$ при уменьшении плотности энергии импульса примерно в 10 раз. В настоящее время лазерные диоды (ЛД) нашли практическое применение как источники энергетического импульса при инициировании детонации в светочувствительных энергетических материалах [6]. Однако сведения о возможности возбуждения взрыва в составе ВС-2 с помощью лазерных диодов в литературе отсутствуют.

Исследование процессов инициирования взрыва в зарядах состава ВС-2 проводили с использованием лазерного диода типа ТО-56 (КНР) с длиной волны излучения 445 nm (синий свет) и выходной мощностью излучения 1 W с коллиматором фирмы Aixiz.

Используемый лазерный диод имеет встроенный импульсный источник питания (ИИП), работающий от 2 аккумуляторов с напря-

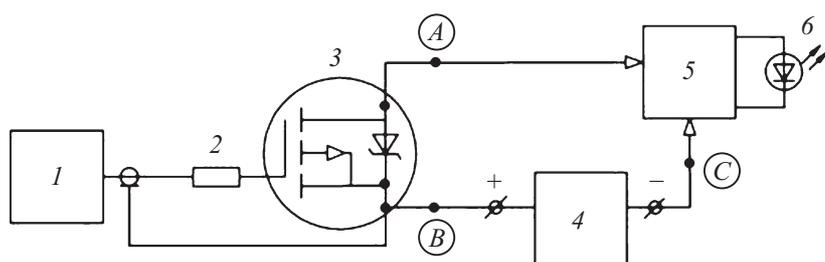


Рис. 1. Схема управления лазерным диодом с электронным ключом: 1 — ГИ АКИП-3402, 2 — резистор, 3 — транзистор IRF4905, 4 — ИП Б5-90, 5 — ИИП, 6 — ЛД, А, В, С — точки подключения схемы управления.

жением 3.7 V. Принципиальной особенностью ИИП является наличие времени задержки включения и времени выхода на рабочий режим. Для стабилизации параметров работы ИИП была разработана синхронизируемая электронная схема управления, включающая электронный ключ с минимально возможным падением напряжения на нем и использованием для электропитания лазерного диода вместо аккумуляторов стабилизированного источника достаточной мощности, что исключает падение уровня излучения при значительных длительностях свечения.

В качестве электронного ключа был применен мощный полевой транзистор с индуцированным каналом типа IRT4905. Схема управления с электронным ключом представлена на рис. 1. Управление ключом осуществляется от генератора импульсов (ГИ) в режиме активного выходного сопротивления АКИП-3402 (Россия). Регулируемая длительность импульсов АКИП-3402 — в пределах от единиц миллисекунд до 1 s. Источник питания типа Б5-90 (ИП) (Россия) вместо аккумуляторов. Источник излучения подключали к блоку питания через схему управления длительностью импульса и ГИ. Длительность импульса ГИ изменяли в пределах от 3 ms до 3 s.

Измерения времени запаздывания включения ИИП лазера показали, что при вышеуказанных параметрах электропитания лазерного диода время запаздывания ИИП составляет 2.5 ms, время выхода на полную мощность излучения — 7.3 ms. Таким образом, суммарное время выхода излучателя на рабочий режим составляет не более 10 ms.

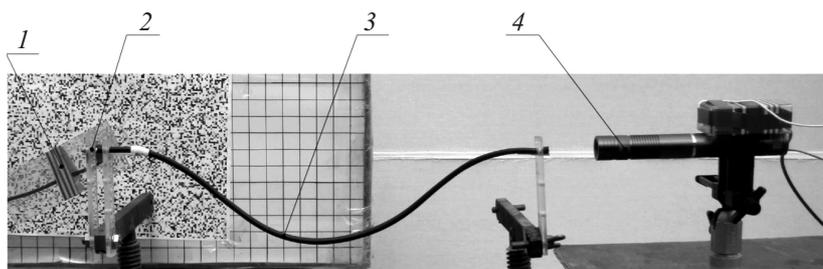


Рис. 2. Схема опыта со световодом: 1 — фотодатчик, закрепленный в пластине из оргстекла, 2 — колпачок с составом ВС-2, 3 — световод, 4 — излучатель типа ТО-56.

При изучении восприимчивости состава ВС-2 к квантам синего света колпачок с составом ВС-2 устанавливали в монтажное сквозное отверстие (диаметром 5.5 mm) платы из оргстекла. Взрыв состава ВС-2 сопровождался мощным хлопком и регистрировался с помощью скоростной видеосъемки и сигналов фотодатчика. С учетом поправок на выход излучателя на рабочий режим среднее время инициирования по опытам с 50 сборками составило 30 ± 10 ns при 100%-м срабатывании.

Возможность оптического инициирования состава ВС-2, находящегося вне прямой видимости излучателя, была продемонстрирована с использованием гибкого оптического световода длиной 50 cm с квадратным входным и выходным сечением с длиной стороны 3 mm. На рис. 2 представлена общая схема опыта.

Расположение световода (дистанционный ввод излучения, относительно большой прогиб) соответствовало наиболее жестким условиям его потенциального применения. Потери передаваемой мощности за счет апертурных потерь и поглощения лазерного излучения в материале световода составляли не менее 75%.

На рис. 3 приведены последовательные кадры скоростной видеорегистрации, на которых фиксируется инициирование состава ВС-2 в данной схеме. Параметры скоростной съемки камерой „Видео Спринт“ (Россия) в опыте: 2000 f/s при экспозиции $100 \mu s$. Лазерный диод подключали к блоку питания через схему управления длительностью импульса, задаваемого ГИ (рис. 1). Длительность импульса ГИ в опыте составляла 2 s. а — кадр 1 — инициирования нет, видно отражение

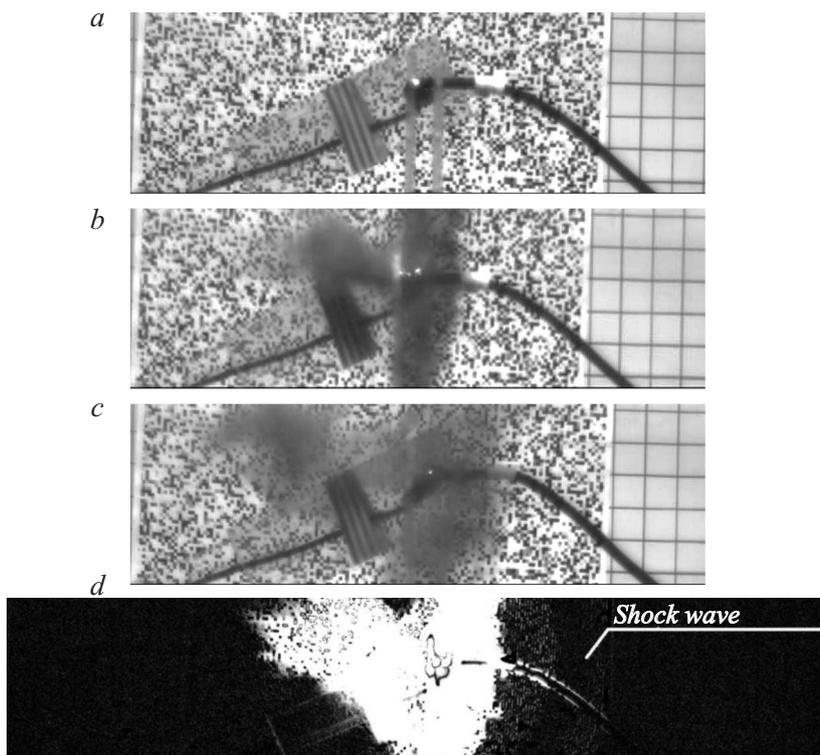


Рис. 3. Раскадровка видеозаписи инициирования состава ВС-2 в опыте со световодом.

свечения лазера от сборки; *b* — кадр 2 (через $\Delta t = 500 \mu s$ после кадра 1) — инициирование произошло, влево от донца колпачка (по направлению действия инициирующего импульса) и в полупространство навстречу распространяются продукты взрыва состава ВС-2, в кадре видны дополнительные блики за счет рассеяния излучения на осколках колпачка; *c* — кадр 3 (через $\Delta t = 1 ms$ после кадра 1) — распространение продуктов взрыва замедляется, торец световода разбит, но частично сохраняет прозрачность — излучение лазера продолжает передаваться; *d* — кадр 4 — результат обработки данных кадров 1 и 3 теневым

фоновым методом [7], который позволил визуализировать ударную волну, образованную при инициировании сборки. Продукты взрыва практически полностью рассеиваются примерно через $\Delta t = 1.5 \text{ ms}$ после взрыва заряда состава ВС-2. Время инициирования в опыте по данным видео регистрации и записи фотодатчика составило 408 ms.

Вывод: с уменьшением мощности луча лазерного диода с 1 W до менее 0.25 W время инициирования возрастает с около 30 ms до примерно 400 ms. Дополнительные опыты со световодами вдвое большей длины и со значительно большим поглощением квантов света видимого диапазона показали, что порог зажигания состава ВС-2 находится на уровне 0.1 W.

Полученные результаты доказывают, что взрыв состава ВС-2 происходит в режиме перехода горения в детонацию. Зажигание состава ВС-2 начинается в горячих точках, источниками которых, очевидно, являются микронеднородности. Концентрация горячих точек зависит от мощности лазерного луча. Возможно, что излучение ЛД вызывает нелинейное изменение оптических характеристик состава ВС-2 при инициировании [2].

Таким образом, в работе было впервые: экспериментально продемонстрировано инициирование взрыва светочувствительного состава ВС-2 под действием луча лазерного диода; определен порог инициирования состава, который составил 0.1 W; предложен механизм инициирования состава ВС-2 лучом лазерного диода, не противоречащий полученным экспериментальным данным.

Работа выполнялась в рамках договора № 0406-2014 между ФГУП РФЯЦ-ВНИИЭФ и СарФТИ НИЯУ МИФИ. Методика визуализации разрабатывалась при поддержке Российского фонда научных исследований, проект № 14-19-01637.

Список литературы

- [1] *Илюшин М.А., Судариков А.М., Целинский И.В., Смирнов А.В., Чернай А.В., Шугалей И.В.* Металлокомплексы в высокоэнергетических композициях (монография) / Под ред. И.В. Целинского. СПб.: ЛГУ им А.С. Пушкина, 2010. 188 с.
- [2] *Таржанов В.И.* // Физика горения и взрыва. 2003. Т. 39. № 6. С. 3–11.
- [3] *Bourne N.K.* // Proceeding Roy Society. A. London. 2001. V. 457. P. 1401–1426.

- [4] *Илюшин М.А., Целинский И.В.* / Патент на изобретение RU № 2 225 840 С2, (С1 7С01 G13/00), 2004.
- [5] *Илюшин М.А., Угрюмов И.А., Долматов В.Ю., Веретенникова М.В.* / Патент на изобретение RU № 2 309 139 С2, (С1 С06В 43/00; С06В 45/30; С06С 7/00), 2006.
- [6] *Dilham D.* // The First ESA-NASA Working Meeting on Optoelectronics: Fiber Optic System Technologies in Space, ESA/ESTEC. 2005. October 6. P. 1–10.
- [7] *Герасимов С.И., Файков Ю.И.* Теневое фотографирование в расходящемся пучке света. Монография. Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2010. 343 с.