Исследование самоподдерживающегося горения энергонасыщенных композитов на основе пористого кремния n-типа и перхлората бария

© А.А. Карпова[1], В.М. Фрейман[1], И.М. Воробьев[1], О.А. Ватницкий[1], М.В. Томкович[1], Ю.А. Кукушкина[1], А.Г. Зегря[1], Г.Г. Савенков[2], Е.В. Шашков[3], Г.Г. Зегря[1]

[1] Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук,
194021 Санкт-Петербург, Россия
[2] Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет),
190013 Санкт-Петербург, Россия
[3] Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук,
119991 Москва, Россия

E-mail: a.a.karpova@mail.ioffe.ru

Поступила в Редакцию 12 декабря 2025 г.
В окончательной редакции 3 января 2026 г.
Принята к публикации 6 февраля 2026 г.

Методом высокоскоростной видеосъемки исследовано экзотермическое химическое превращение энергонасыщенных композитов на основе пористого кремния, подготовленного путем электрохимического травления монокристаллической пластины кремния n-типа проводимости, и перхлората бария. Установлено, что в открытых контейнерах может наблюдаться как локальное химическое превращение подготовленных смесей, происходящее в области инициирующего воздействия, так и самоподдерживающееся распространение экзотермической реакции по объему вещества. Уплотнение энергонасыщенного композита в закрытом контейнере позволило определить верхнюю оценку скорости распространения фронта химической реакции, равную 89 м/с, и классифицировать данный процесс как горение.

Ключевые слова: пористый кремний, энергонасыщенный композит, перхлорат бария, экзотермическая реакция, самоподдерживающееся горение, скорость горения.

DOI: 10.61011/FTP.2026.01.62902.8884

1. Введение

Современные тенденции использования пористого кремния (ПК) области создания энергоемких материалов предусматривают отделение пористого слоя от родительской подложки, на которой ПК располагается после ее химической или электрохимической обработки. В частности, этот шаг делает возможным создание пастообразных или капсулированных энергонасыщенных композитов (ЭНК) [1], а также подготовку на основе измельченного слоя ПК кристаллических квантовых точек, которые самостоятельно могут служить горючим [2]. В течение последних пяти лет активное развитие получили ЭНК на основе фрагментированного ПК [3–5], исследование горения которого с моногидратом перхлората натрия в различных атмосферах продолжается в настоящее время: изучена динамика и установлены режимы этого процесса, определены времена индукции зажигания и импульсы давления в атмосфере на фиксированном расстоянии от очага возгорания, а также определены скорости горения таких ЭНК и их зависимости от коэффициента стехиометрии и влажности моногидрата перхлората натрия. Характерные скорости горения ЭНК на основе фрагментированного ПК с выбранным окислителем в воздушной среде находятся в диапазоне 1000–2500 м/с [3,4].

Преобладающее количество работ по исследованию физико-химических свойств ЭНК на основе ПК выполнено с использованием монокристаллических пластин кремния p-типа проводимости (см. [6] и указанные выше работы [2–4]). Этот результат объясняется спецификой электрохимического травления пластин кремния n-типа, заключающейся в необходимости дополнительной интенсивной подсветки. Авторами работы [7] было проведено исследование влияния типа проводимости и удельного сопротивления кремниевых пластин на микроструктуру ПК, получаемого путем электрохимического травления, и скорость горения ЭНК. Для высоко- и низколегированных пластин Si с удельным сопротивлением 0.001–0.005 и 2–5 Ом · см скорости горения ЭНК с перхлоратом натрия составили 5.4–11.0 и 314–372 м/с. Возрастание скорости горения на 2 порядка было объяснено формированием структуры неупорядоченных микротрещин в ПК, через которые происходит конвективный теплоперенос.

Настоящая работа посвящена исследованию горения ЭНК на основе ПК, подготовленного на основе монокристаллических пластин кремния n-типа проводимости, и перхлората бария. Сведения об использовании данной перхлоратной соли в качестве окислителя весьма ограничены. Готовый ЭНК был распределен по контейнерам протяженной формы: открытым и закрытым, что позволило сравнить характеры протекания экзотермической реакции в условиях неограниченного и ограниченного объемов.

Таблица 1. Геометрические размеры, форма и материал контейнеров для ЭНК

Название образца	Форма, материал контейнера	Внутренняя длина, мм	Внутренняя ширина, мм	Толщина стенки, мм
АП-1	Параллелепипед, алюминий	49	4	1
СТ-1	Цилиндр, пищевой силикон	60	2	2
СТ-2	Цилиндр, пищевой силикон	60	2	2

2. Эксперимент

2.1. Получение ПК

Для получения ПК была использована пластина монокристаллического кремния n-типа, характеризуемая следующими параметрами: метод выращивания — Чохральского, легирующая примесь — мышьяк, диаметр — 150 мм, толщина — 640–660 мкм, кристаллографическая ориентация — (111), удельное сопротивление — 2.64 мОм · см. Выбранная пластина была подвергнута двустороннему электрохимическому травлению в смеси этанола и 46–49 %-го водного раствора плавиковой кислоты (квалификация ос. ч., марка 27-5), взятых в объемном соотношении 1 : 1, на протяжении 60 мин. Плотность анодного тока составляла 69 мА/см^2. Отделение пористого слоя от подложки производилось вручную.

Текстурные характеристики готового продукта травления были определены методом низкотемпературной адсорбции азота при 77 K, выполненной с использованием анализатора ASAP 2020 (Micromeritics, США). Удельные поверхность и объем пор были определены по методу Баррета-Джойнера-Халенды. Средний размер пор оценивался как отношение удельного объема пор V_{pore}, умноженного на 4, и удельной поверхности пор S_{pore}.

Удельный объем пор V_{pore} размером от 2 до 500 нм, рассчитанный по изотерме десорбции азота, был использован для нахождения степени пористости P полученного ПК по формуле

$$P = \frac{V_{\text{pore}}}{V_{\text{pore}} + 1/\rho_{\text{Si}}}\,100\,\%, \qquad (1)$$

где V_{pore}=1.013 см^3/г, плотность кремния ρ_{Si}=2.33 г/см^3. Таким образом, значение $P \approx 70\,\%$. Средний размер пор, также рассчитанный по десорбционной ветви изотермы, составил 7.24 нм и позволил считать полученный ПК мезопористым согласно классификации, введенной Международным союзом по чистой и прикладной химии (IUPAC).

2.2. Подготовка образцов

Для изготовления ЭНК слои ПК, измельченные в ступке до порошкообразного состояния, смешивались с раствором перхлората бария в этаноле. Удаление остатков растворителя производилось в сушильном шкафу ШС-10-02 СПУ (АО „Смоленское СКТБ СПУ“, Россия), поддерживающего температуру 45 °C. За этапом сушки следовало просеивание готового ЭНК через нейлоновую сетку с приблизительным размером ячейки 0.25 мм. В целях обеспечения безопасности масса ЭНК, необходимая для выполнения экспериментальной работы, была разделена на несколько порций, подготавливаемых поочередно и характеризующихся индивидуальным значением массового соотношения (горючее : окислитель) (далее сокращенно (Г : О)). Таким образом было получено более 500 мг ЭНК; для его отдельных слагаемых массовое соотношение (Г : О) составляло от 0.55 до 0.59.

Контейнеры для ЭНК были подготовлены на основе алюминиевого П-образного профиля, а также трубки из пищевого силикона. Контейнер АП-1, имеющий открытый верх, был изготовлен из алюминиевого профиля путем запайки торцов. Двум отрезкам трубки одинаковой длины были присвоены названия СТ-1 и СТ-2. В качестве заглушек использовались строительные гвозди диаметром 2.5 мм с предварительно срезанным острием. В табл. 1 приведены сведения о геометрических размерах контейнеров для ЭНК. Подчеркнем тот факт, что названия образцов совпадают с выбранными названиями контейнеров.

В табл. 2 указаны массы ЭНК в контейнерах АП-1, СТ-1 и СТ-2. Также табл. 2 содержит сведения о рассчитанных значениях массового соотношения (Г : О) и насыпной плотности ЭНК до и после уплотнения в контейнерах. Следует обратить внимание на тот факт, что уплотнение ЭНК в образце АП-1 не производилось.

2.3. Инициирование и регистрация химического превращения ЭНК

В ходе проведения эксперимента по инициированию и регистрации химического превращения (ХП) ЭНК подготовленные образцы закреплялись в неподвижных держателях. Образец АП-1 фиксировался в быстрозажимных тисках KITOKI BG-625702, скрепленных с массивным металлическим основанием в форме диска. Образцы СТ-1 и СТ-2 располагались внутри алюминиевого П-образного профиля внутренней ширины 6 мм,

Таблица 2. Массы ЭНК в исследованных образцах, а также характеризующие их значения массового соотношения (Г:О) и насыпной плотности до и после уплотнения в контейнере

Название образца	Масса ЭНК, мг	Массовое соотношение (Г:О)	Исходная насыпная плотность, г/см^3	Насыпная плотность после уплотнения, г/см^3
АП-1	76.3	0.55	0.68	–
СТ-1	73.0	0.58	0.42	0.63
СТ-2	72.4	0.58	0.42	0.61

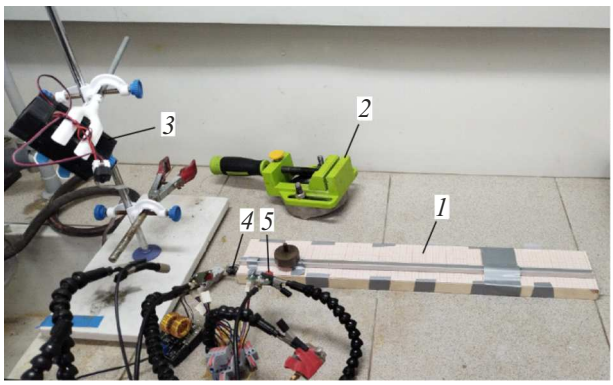


Рис. 1. Фотография экспериментальной установки для инициирования и регистрации ХП ЭНК на основе ПК. Состав установки: *1* — держатель для образцов СТ-1 и СТ-2, *2* — быстрозажимные тиски KITOKI BG-625702, *3* — лазерный диод GH04C05B9G в корпусе, *4* — медная катушка индуктивности, использованная для термического инициирования ХП, *5* — фотоприемник ФПУ100-3. Вблизи левого края алюминиевого П-образного профиля, закрепленного на подставке, размещен пуансон, который также можно увидеть на рис. 4 и 5.

который присоединялся к подставке с помощью армированной клейкой ленты. Подставка была выполнена из деревянной доски с габаритами $20\times80\times500$ мм (высота $\times$ ширина $\times$ длина), покрытой оргстеклом толщиной 1 мм поверх координатно-разметочной бумаги.

Инициирование ХП образца АП-1 выполнялось путем облучения поверхности ЭНК непрерывным излучением лазерного диода GH04C05B9G с длиной волны 440 нм (SHARP, Япония). Для инициирования образцов СТ-1 и СТ-2 использовался термический метод с помощью медной катушки индуктивности, внутри которой размещалась заглушка трубки, закрывающая торец или используемая для уплотнения ЭНК. Независимо от способа инициирования ХП воздействию подвергалась часть ЭНК, которая расположена на крайней периферии контейнера. Эксперимент проводился в атмосфере рабочей комнаты, влажность в помещении не контролировалась. Фотография экспериментальной установки приведена на рис. 1.

Регистрация ХП производилась с помощью высокоскоростной камеры Evercam 1000-8-C (ООО НИЦ „Промышленная оптика“, Россия). Управление настройками высокоскоростной камеры осуществлялось с помощью модуля ВСКАМ-КОНТРОЛЬ программного комплекса Платформа ВСКАМ версия 1.0. При проведении эксперимента были выбраны следующие параметры: разрешение изображения — 1280×304 пикселя, яркость — 76, контраст — 192, частота кадров — 2694 fps (Frames Per Second, кадров в секунду), время экспозиции — 1/2700 с, усиление — 1, режим записи — циклический, предустановленное число кадров после отработки команды „стоп“ равно 300. Значение последнего параметра было определено таким, чтобы число кадров, сохраняемых в памяти высокоскоростной камеры до и после выполнения команды „стоп“, оказывалось одинаковым. Данный выбор обеспечивал регистрацию событий до срабатывания триггера. Команда „стоп“ подавалась на управляющие контакты высокоскоростной камеры с TTL-выхода (Transistor-Transistor Logic) цифрового осциллографа DS2302A (RIGOL, Китай) при срабатывании триггера по нарастанию сигнала до отметки — 1.53 В на канале № 1, к которому был подключен фотоприемник ФПУ100-3 (ООО „АЦИА Политехник“, Россия). Изображениям, характеризующим ХП ЭНК для образцов СТ-1 и СТ-2, соответствовала глубина градаций цвета 10 и 8 бит. Фрагмент видеозаписи, содержащий событие ХП ЭНК, сохранялся в виде стоп-кадров формата TIFF. Также с помощью модуля ВСКАМ-КОНТРОЛЬ было возможным добавление конфигурируемой текстовой метки в выходные файлы.

3. Результаты и обсуждение

3.1. Образец АП-1

Отклик образца АП-1 на инициирующее воздействие уместно сравнить с аналогичным поведением тестовых образцов Т-1 и Т-2, подготовленных для проверки реакционной способности используемого ЭНК. Контейнеры Т-1 и Т-2 также имели форму параллелепипеда с открытым верхом, однако отличались от контейнера АП-1 размерами: внутренняя длина каждого из контейнеров составляла 56 мм, внутренняя ширина — 2 мм, внутренняя высота — 4 мм. Уточним, что внутренняя высота контейнера АП-1 равнялась 5 мм. Образцы Т-1 и Т-2 содержали 52.3 и 96.3 мг ЭНК с массовым соотношением (Г:О), равным 0.56 и 0.55 соответственно; насыпная плотность не рассчитывалась.

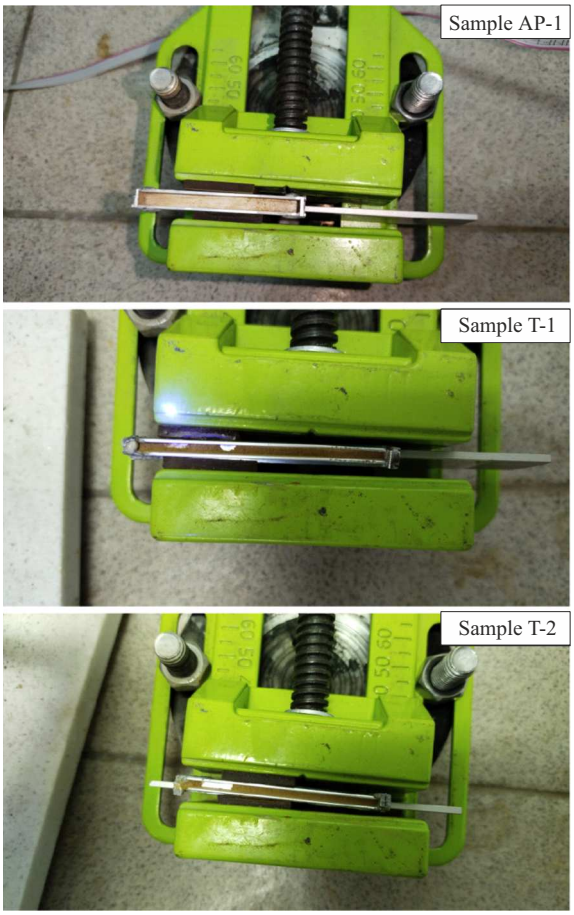


Рис. 2. Образцы АП-1, Т-1 и Т-2, закрепленные в быстрозажимных тисках KITOKI BG-625702, после воздействия инициирующим лазерным излучением.

Как видно на рис. 2, в отличие от тестовых образцов Т-1 и Т-2 образец АП-1 продемонстрировал самоподдерживающееся распространение экзотермической реакции от левого конца контейнера, вблизи которого было сфокусировано лазерное излучение, до правого конца. Образцы Т-1 и Т-2 показали одинаковый характер воспламенения: локальное химическое превращение ЭНК, происходящее в области инициирующего воздействия.

За первой неудачной попыткой инициирования ХП образцов Т-1 и Т-2 следовала повторная попытка. Это объясняет наличие второго или увеличенного по объему воздушного промежутка между частями ЭНК в контейнерах. Наиболее вероятной причиной отказа при инициировании ХП ЭНК в образцах Т-1 и Т-2 следует назвать различную насыпную плотность композитов, которая в свою очередь связана с критическим диаметром горения; характер этой связи зависит от природы взрывчатого вещества [8]. Как известно, при диаметре ЭНК в контейнере меньше критического значения теплопотери в окружающую среду превышают величину энергии, выделяющейся в ходе экзотермической реакции; наблюдается потухание. Исследование обнаруженного эффекта (прекращение/распространение горения в ЭНК) будет продолжено с использованием расширенного набора алюминиевых контейнеров с более разнообразными значениями внутренних ширины и высоты, а также контейнеров для ЭНК конической формы [9].

3.2. Образцы СТ-1 и СТ-2

На рис. 3 показаны контейнеры СТ-1 и СТ-2, а также АП-1 после успешного инициирования ХП ЭНК. Распространение химического превращения ЭНК в образцах-трубках наблюдалось лишь после уплотнения ЭНК, выразившемся в увеличении насыпной плотности от 0.42 до 0.63 г/см^3 для образца СТ-1 и от 0.42 до 0.61 г/см^3 для образца СТ-2. Уплотнение производилось вручную с помощью строительного гвоздя диаметром 2 мм с удаленным острием. Длина композита в контейнере определялась по расстоянию между двумя заглушками-гвоздями: для образца СТ-1 оно составило 55 и 37 мм до и после уплотнения соответственно, в образце СТ-2 ЭНК был уплотнен от 55 до 38 мм. В качестве дополнительной характеристики также можно ввести степень пористости ЭНК, равную отношению объема пустот к объему материала: для обоих образцов этот параметр составил $\sim 82\,\%$ до уплотнения и $\sim 73-74\,\%$ после уплотнения.

На рис. 4 приведены стоп-кадры, характеризующие протекание ХП для образца СТ-1. На стоп-кадре *1* видна вспышка, природа которой преимущественно связана с ХП ЭНК и отчасти разогревом уплотняющей заглушки. Положение фронта реакции находится в области полоски армированной клейкой ленты, используемой для закрепления образца в держателе, и потому может быть определено лишь приблизительно. На стоп-

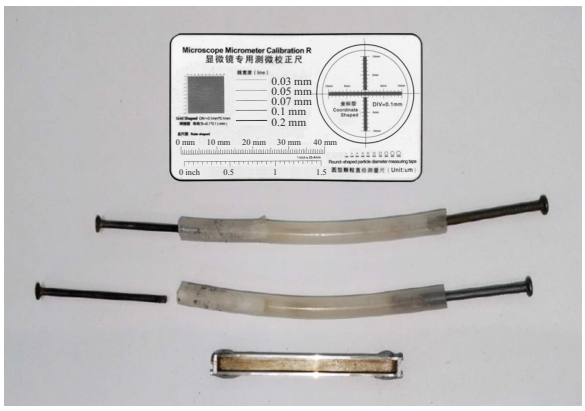


Рис. 3. Контейнеры СТ-1 (сверху) и СТ-2 (посередине), а также АП-1 (снизу) после завершения эксперимента по инициированию и регистрации ХП ЭНК на основе ПК и перхлората бария. Термическое инициирование образцов СТ-1 и СТ-2 производилось путем нагрева левой, т. е. уплотняющей, заглушки меньшего диаметра, о чем свидетельствуют побеление и непрозрачность материала. В результате проведения эксперимента целостность контейнера СТ-1 была нарушена.

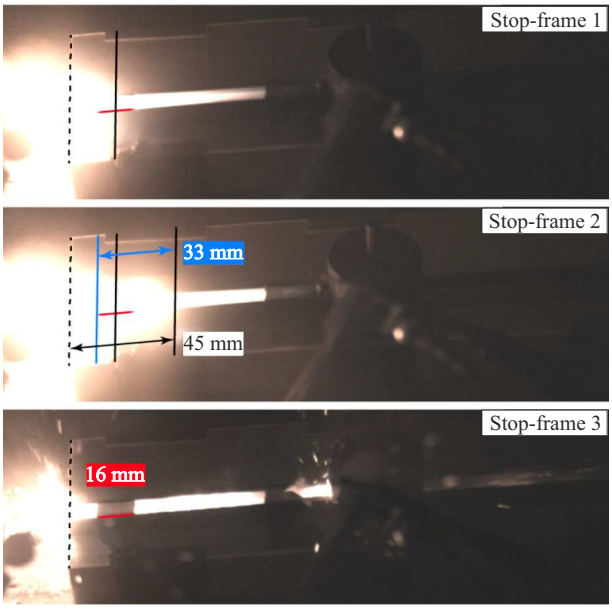


Рис. 4. Протекание ХП ЭНК для образца СТ-1. Временной промежуток между стоп-кадрами *1* и *2* составляет 370 мкс, стоп-кадры *1* и *3* разделяют 5.55 мс. Черной пунктирной линией показано ребро деревянной доски длиной 80 см, соответствующее началу держателя. Сплошные линии черного цвета отмечают положение фронта экзотермической реакции, определенное по стоп-кадрам. Красной линией выделена ширина 16 мм полоски армированного скотча, использованного для удержания образца внутри алюминиевого П-образного профиля. Синяя сплошная линия показывает левый край упомянутой полоски скотча. Черная (синяя) двойная стрелка использована для указания расстояния от края держателя (левого края полоски скотча) до положения фронта реакции на стоп-кадре *2*.

кадре *2* положение фронта реакции ХП, определенное по краю световой вспышки относительно начала держателя, уже выходит за пределы ЭНК. Данный вывод сделан на том основании, что после уплотнения ЭНК его длина в контейнере составила 3.7 см. Заметим, что перед началом инициирования ХП конец уплотняющей заглушки, находящийся в контакте с ЭНК, был совмещен с началом держателя. Таким образом, верхнюю оценку скорости распространения ХП в ЭНК для образца СТ-1 можно дать, разделив расстояние от левого края полоски клейкой ленты до положения фронта реакции на стоп-кадре *2*, равное ~ 33 мм, на время экспозиции высокоскоростной камеры. Соответственно, скорость распространения самоподдерживающейся экзотермической реакции для образца СТ-1 не превышает 89 м/с, что позволяет отнести зарегистрированный процесс к горению. Как известно, послойное горения является первой стадией перехода горения во взрыв в пористых энергетических материалах [8,10]. Перепад давления между очагом горения и соседними слоями материала, возникающий в условиях ограничения оттока газообразных продуктов горения стенками оболочки, вызывает фильтрацию горячих продуктов горения по порам вглубь нереагирующего вещества. Воспламенение внутренней поверхности пор газообразными продуктами горения соответствует переходу к конвективному горению. На этой стадии скорость распространения горения по материалу резко возрастает.

Также следует учесть, что в результате просеивания готового ЭНК был зафиксирован лишь максимальный размер частиц материала, равный 0.25 мм. В то же время для механоактивированных ЭНК на основе частиц кремния и твердотельных неорганических окислителей установлено, что скорость распространения реакции зависит от размера кремниевых частиц: переход от микро- к наночастицам Si приводит к возрастанию скорости горения энергетического материала более чем на 2 порядка [11]. Зависимость скорости распространения фронта реакции от степени пористости и удельной поверхности слоя ПК также хорошо известна для ЭНК, для которых связь ПК с родительской подложкой сохраняется после завершения травления [12,13]. Исследование влияния размера частиц готового ЭНК на скорость распространения фронта химического превращения представляет отдельную научную задачу.

Как видно на рис. 5, уже на первом стоп-кадре, характеризующем ХП ЭНК для образца СТ-2, фронт реакции ХП находится почти на краю композита, уплотненного до длины 38 мм. С учетом ранее сделанной оценки скорости распространения реакции по ЭНК можно утверждать, что следующий стоп-кадр, зарегистрированный с временно́й разницей 370 мкс, непригоден для определения скорости распространения фронта химической реакции в ЭНК.

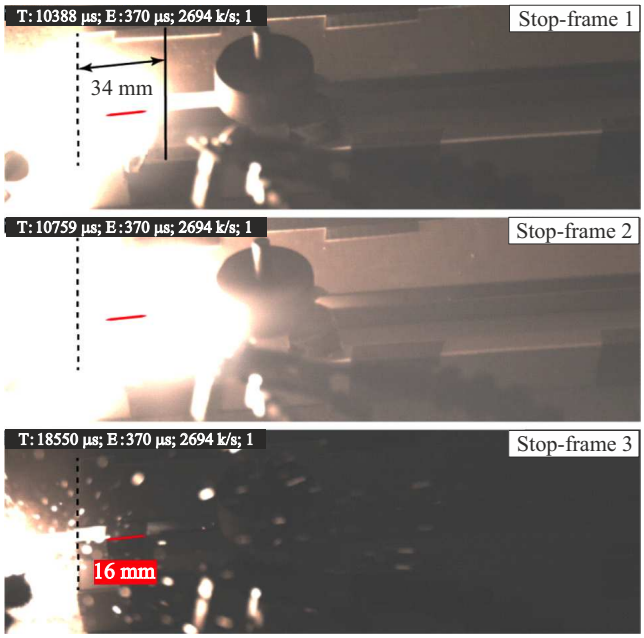


Рис. 5. Протекание ХП ЭНК для образца СТ-2. Обозначения и выбор цветов аналогичны тем, которые введены на рис. 4.



Рис. 6. Тестовые образцы протяженной формы, демонстрирующие достижимость самоподдерживающегося распространения химического превращения ЭНК на расстояния, большие 5 см.

Принципиальная возможность создания образцов цилиндрической формы, для которых наблюдается самоподдерживающееся распространение химического превращение ЭНК по длине контейнера, позволяет позитивно оценивать перспективы подготовки более протяженных образцов аналогичной геометрии. Авторами были проведены предварительные эксперименты по изготовлению таких образцов с использованием контейнеров длиной 10 см и внутренним диаметром 2 мм из пищевого силикона, а также контейнеров длиной 25 см и внутренним диаметром 1 мм из нержавеющей стали. В обоих случаях были подготовлены ЭНК с массовым соотношением (Г : О), близким к тому, которое характеризует энергетический материал, использованный в настоящей работе. В силиконовые контейнеры помещался ЭНК, также подготовленный на основе монокристаллических пластин кремния *n*-типа проводимости; фотографии контейнеров после протекания ХП приведены на рис. 6. Детали исследования, проведенного с использованием стальных контейнеров, будут сообщены отдельно.

4. Заключение

В настоящей работе исследовано протекание экзотермической реакции в ЭНК на основе ПК, полученного путем электрохимического травления монокристаллической пластины кремния *n*-типа, и перхлората бария. Зарегистрировано самоподдерживающееся распространение горения как в случае использования открытого контейнера для ЭНК, так и в случае закрытия торцов контейнера. Методом высокоскоростной видеосъемки определена верхняя оценка скорости распространения фронта ХП ЭНК в ограниченном объеме, составившая 89 м/с. Дальнейшие исследования будут направлены на определение критического диаметра горения таких ЭНК и установление зависимости скорости ХП от гранулометрического состава энергетического материала.

Финансирование работы

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда № 24-12-00426, https://rscf.ru/project/24-12-00426/

Конфликт интересов

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Список литературы

[1] В. Миронов. НИИ, **4** (218), 25 (2021).
[2] S.K. Adams, N.W. Piekiel, M.H. Ervin, C.J. Morris. Appl. Phys. Lett., **112**, 233108 (2018).
[3] В.Н. Миронов, О.Г. Пенязьков, Е.С. Голомако, С.О. Шумляев. Горение и взрыв, **14** (2), 83 (2021).
[4] В.Н. Миронов, Е.С. Голомако, П.Н. Кривошеев, О.Г. Пенязьков, С.О. Шумляев. ИФЖ, **96** (7), 1838 (2023).
[5] В.Н. Миронов, Е.С. Демух, О.Г. Пенязьков, К.Л. Севрук, И.И. Чернухо. ИФЖ, **98** (5), 1207 (2025).
[6] G. Korotcenkov. *Porous Silicon: From Formation to Applications: Optoelectronics, Microelectronics, and Energy Technology Applications* (Boca Raton, CRC Press, 2016) v. 3.
[7] V.S. Parimi, A.B. Lozda, S.A. Tadigadapa, R.A. Yetter. Combust. Flame, **161** (11), 2991 (2014).
[8] А.Ф. Беляев, В.К. Боболев, А.И. Коротков, А.А. Сулимов, С.В. Чуйко. *Переход горения конденсированных систем во взрыв* (М., Наука, 1973).
[9] Л.Н. Азбукина, А.Ф. Беляев. В сб.: *Физика взрыва. Сборник № 3 экспериментальных и научно-исследовательских работ в области физики взрыва*, под ред. М.А. Садовского, А.Ф. Беляева (М., Изд-во АН СССР, 1955) с. 141.
[10] Б.С. Ермолаев. Докт. дис. (М., ФИЦ ХФ РАН, 2020).
[11] А.Ю. Долгобородов, А.Н. Стрелецкий, М.Н. Махов, В.А. Теселкин, Ш.Л. Гусейнов, П.А. Стороженко, В.Е. Фортов. Хим. физика, **31** (8), 37 (2012).
[12] N.W. Piekiel, C.J. Morris, W.A. Churaman, M.E. Cunningham, D.M. Lunking, L.J. Currano. Propellants Explos. Pyrotech., **40** (1), 16 (2015).
[13] M. du Plessis, C. Conradie. In: *Device and Process Technologies for Microelectronics, MEMS, and Photonics IV*, ed. by J.-C. Chiao, A.S. Dzurak, C. Jagadish, D.V. Thiel (Bellingham, SPIE — The International Society for Optical Engineering, 2005) v. 6037, p. 60370X-1.

Редактор Г.А. Оганесян

Investigation of self-sustained burning of the *n*-type porous silicon-based composites with barium perchlorate

A. Karpova[1], *V.M. Freiman*[1], *I.M. Vorobev*[1], *O.A. Vatnitskiy*[1], *M.V. Tomkovich*[1], *Y.A. Kukushkina*[1], *A.G. Zegrya*[1], *G.G. Savenkov*[2], *E.V. Shashkov*[3], *G.G. Zegrya*[1]

[1] Ioffe Institute,
194021 St. Petersburg, Russia
[2] St. Petersburg State Institute of Technology
(Technical University),
190013 St. Petersburg, Russia
[3] Prokhorov General Physics Institute
of the Russian Academy of Sciences,
119991 Moscow, Russia

Abstract The exothermic chemical conversion of energetic composites based on porous silicon, prepared by electrochemical etching of a single-crystal *n*-type silicon wafer, and barium perchlorate was studied using high-speed video filming. It is found that the mixtures under study can show either local chemical conversion, which occurs in and around the initiation spot, and the self-sustained propagation of the exothermic reaction over the material volume. After subjection of the energetic composites to compression in a closed container, it became possible to determine the upper estimate of the chemical reaction front propagation speed, equal to 89 m/s, and classify the process as burning.