

СПЕКТРЫ СВЕЧЕНИЯ ПРОДУКТОВ ВЗРЫВЧАТОГО РАЗЛОЖЕНИЯ ПОЛИКРИСТАЛЛА ДАДНЭ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ИМПУЛЬСНОГО ПУЧКА ЭЛЕКТРОНОВ



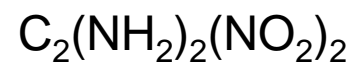
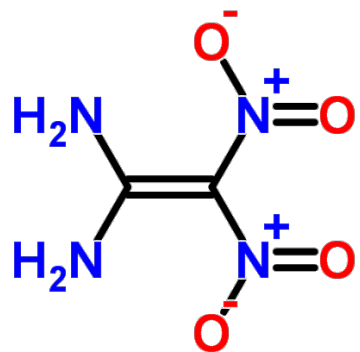
Лисков И.Ю.¹, Никитин А.П.¹, Ильякова Н.Н.², Адуев Б.П.¹, Зверев А.С.²

1. Институт углекислотной и химического материаловедения Федерального исследовательского центра угля и углекислотной СО РАН, 650000, г. Кемерово, Россия

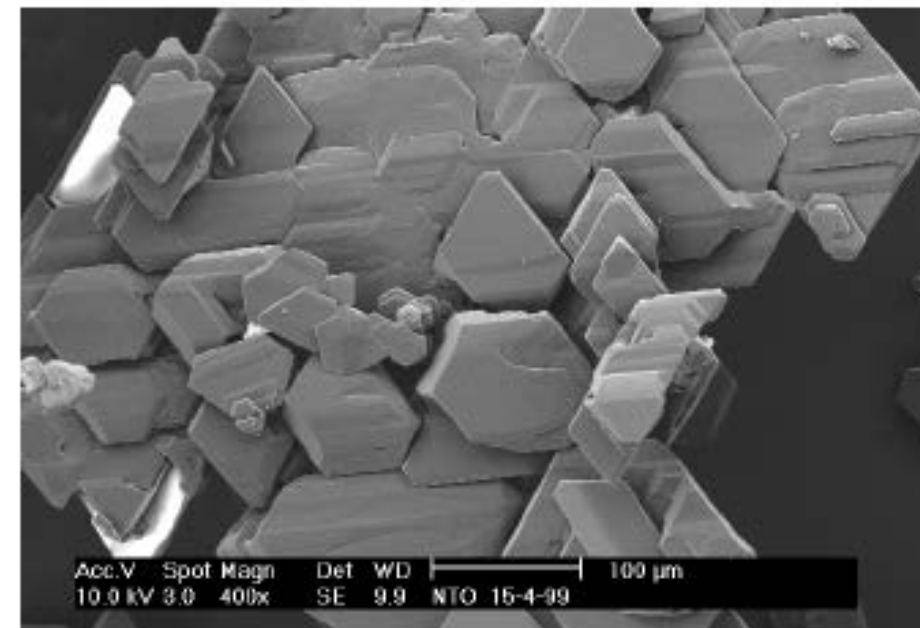
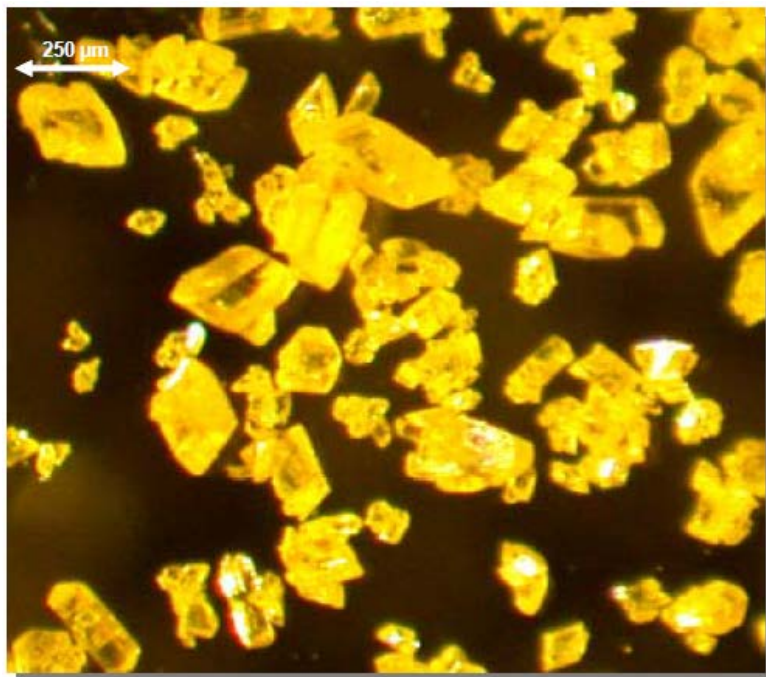
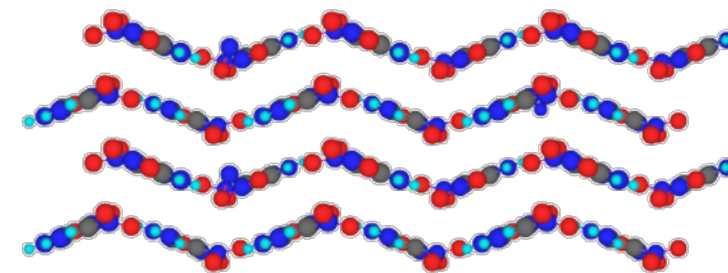
2. Кемеровский государственный университет, г. Кемерово, Россия

Структура и характеристики ДАДНЭ

(1,1-диамино-2,2-динитроэтилен, Апрол, DADNE, FOX-7)



- Плотность монокристалла: 1.885 г/см³
- Температура кипения: 194,6 ± 40,0 ° C
- Температура воспламенения: 225 ° C
- Расчетная скорость детонации и давление на фронте детонационной волны 9040 м/с и 36 ГПа.
- Показатель преломления: 1,604



SEM image of FOX-7 recrystallised from 0.5M HCl

Сравнение характеристик ДАДНЭ и объекты исследования

(1,1-диамино-2,2-динитроэтилен, Апрол, DADNE, FOX-7)

	FOX-7	RDX	HMX	PETN
Температура воспламенения (°C)	215	223	250	215
Чувствительность к удару ($h_{50\%}$, см)	126	32	28	13
Чувствительность к трению (N)	> 350	220	175	60
Скорость детонации м/с	~9040	~8360	~9124	~8590
H_{cr} Дж/см ² (при инициировании электронным пучком)	19,5	~15*	-	14,5

Поликристаллы

1,1-диамино-2,2-динитроэтилен (ДАДНЭ, FOX-7)

диаметр 3 мм толщина 1 мм

плотность $\rho \approx 1,7$ г/см³

*P.A. Politzer, JS Murray Energetic Materials: Part 1. Decomposition, Crystal and Molecular Properties / ELSEVIER 2003, p. 466

Методика эксперимента

Параметры аппаратного комплекса:

Источник возбуждения - ускоритель с взрывоэмиссионным катодом:

эффективная энергия электронов 0,24 МэВ
 длительность импульса до 20 нс
 плотность энергии до 40 Дж/см² (20 Дж/см² при $\varnothing 2,5$ мм)

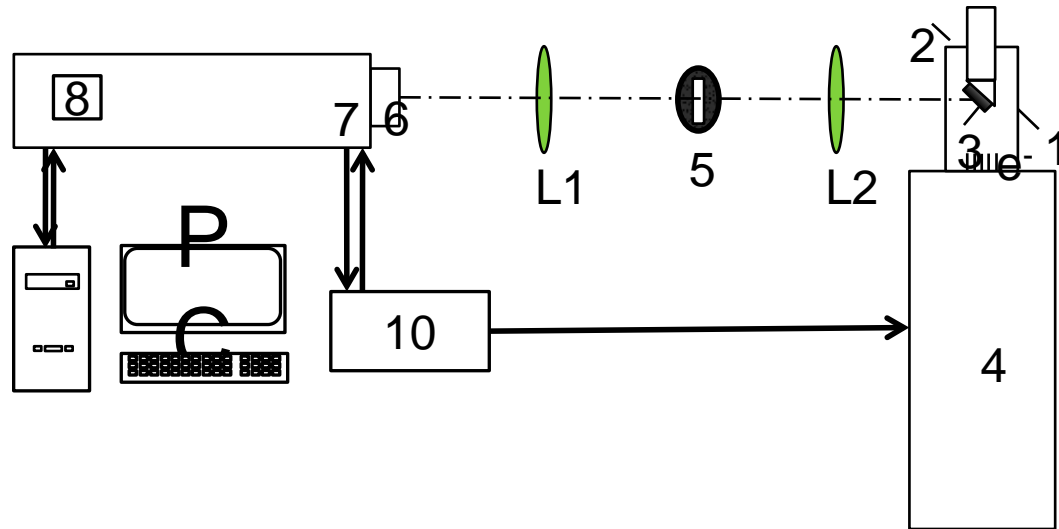


Рисунок 1. Функциональная схема установки на базе спектро-фотохронографа. 1 – вакуумная камера; 2 – держатель образцов; 3 – сборка с образцом; 4 – источник возбуждения ускоритель с взрывоэмиссионным катодом; 5 – щель (0,1 мм); 6 – полихроматор; 7 – фотоэлектронный регистратор «СХ-1А»; 8 – CCD-камера; 9 – ЭВМ; 10 – генератор импульсов; L – линза.

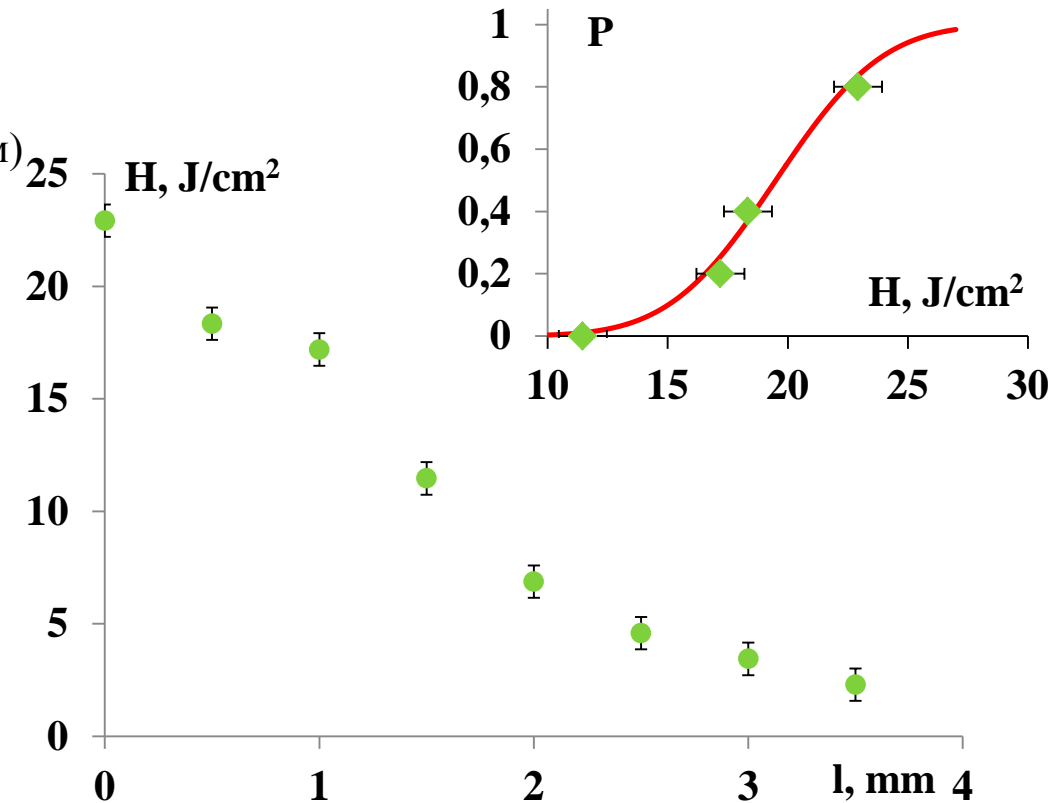


Рисунок 2. Калибровочная кривая плотности энергии пучка электронов и вероятность взрывчатого разложения поликристалла ДАДНЭ при иницировании пучком электронов ($H_{cr}=19,5$ Дж/см²)

В.Н. Швайко, А.Г. Кречетов, Б.П. Адуев Экспериментальный комплекс для исследования спектрально-кинетических и пространственно-динамических характеристик взрывного разложения энергетических материалов // Журнал технической физики. – 2005. – Т.75. – вып.6. – С.59-62

В.Р.Адуев, G.M.Belokurov, S.S.Grechin, I.Yu.Liskov, A.V.Kalenskii, A.A.Zvekov // IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. - 2015. – 81. 1. 012038 doi:10.1088/1757-899X/81/1/012038

Результаты эксперимента

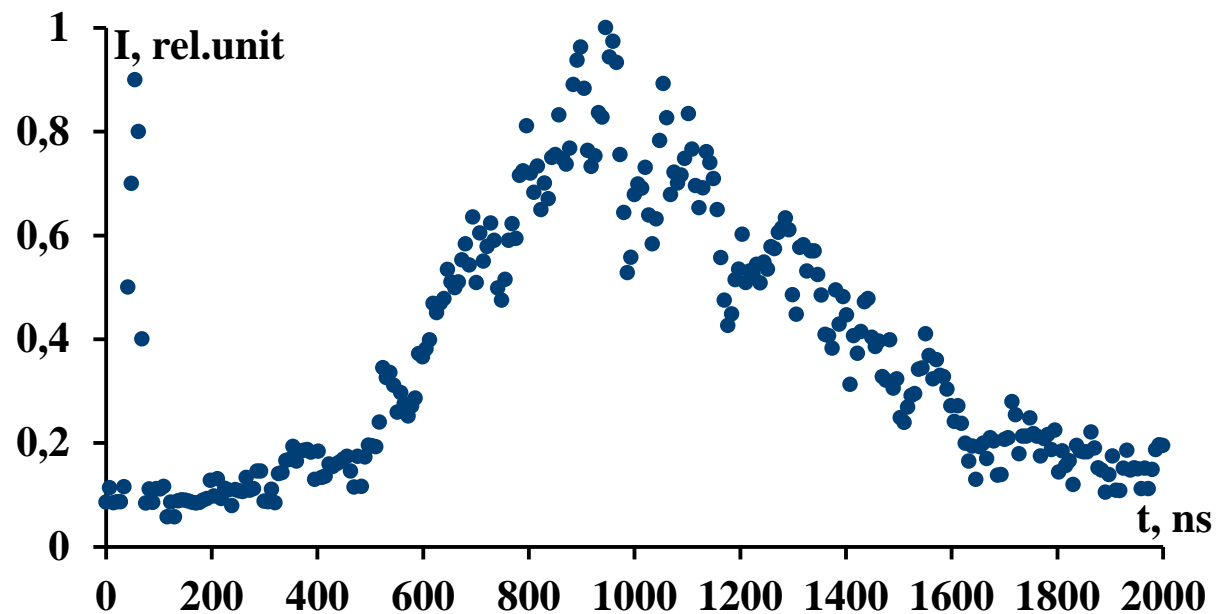


Рисунок 3. Кинетики свечения поликристалла ДАДНЭ соответствующая "горению"

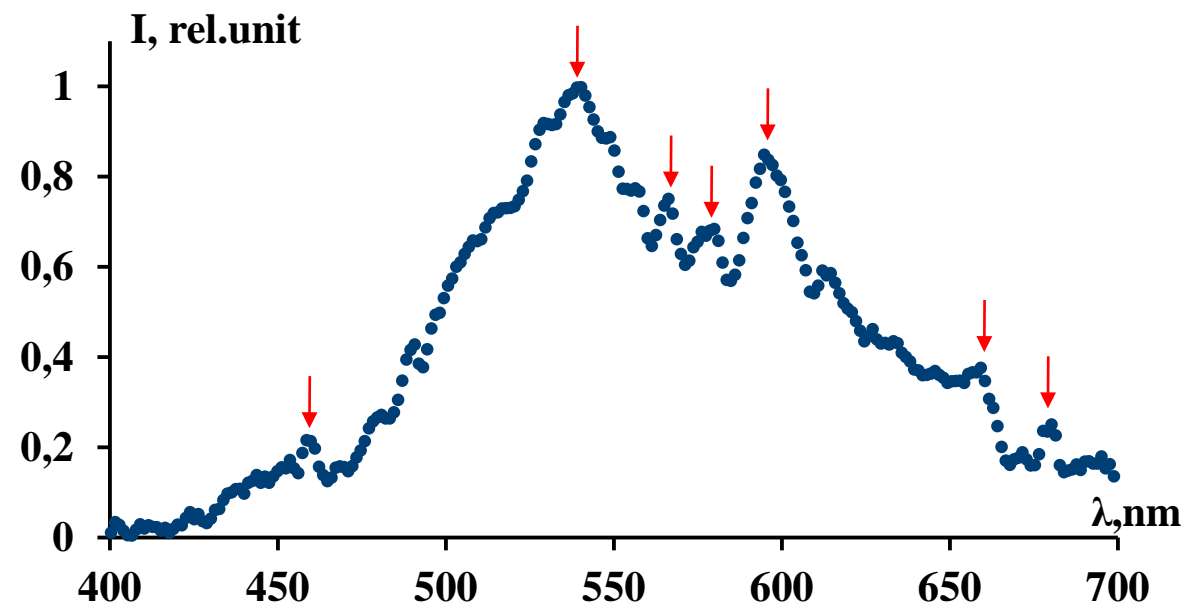


Рисунок 4. Спектр свечения поликристаллов ДАДНЭ соответствующий максимуму кинетики для "горения"

Результаты

максимумы на спектре	460	540	565	580	595	660	680
C ₂		541,3			595,7	659,9	
CN	460,6						680,9
N ₂		540,7	563,27	580,4			
N ₂ ⁺	460		565,31				
NH ₂			564,117				
NO ₂	460,5						
CO		539,9					680,4
CO	460,26	540,25	564,76/567,05	578,09			
CO+			565,26	580,6			

Проведена попытка идентификации продуктов горения ДАДНЭ в вакууме по полученным спектрам (рис. 4). Отчетливо можно выделить 7 максимумов, накрадывающихся на сплошной спектр. Анализ литературных данных позволил сделать предположение, что максимумы наблюдаемы на спектре можно отнести к NO₂ (460,5 нм), N₂ (540,71 и 580,4 нм), NH₂ (564,117), C₂ (595,67 и 659,92 нм) и CO (680,4 нм).

Booth, R.S.; Butler, L.J. Thermal decomposition pathways for 1,1-diamino-2,2-dinitroethene (FOX-7). // J. Chem. Phys. 2014, 141.

И.В. Чемагина, В.П. Филин, Н.В. Гармашева, М.Б. Казакова, Ю.А. Шахторин, Б.Г. Лобойко Исследование диаминодинитроэтилена (дадне) // ЗНЧ Снежинск, 24-28 сентября 2001 г. Отождествление молекулярных спектров /пер. англ., под ред. Мандельштама С.Л., Аленцева М.Н. / Пирс Р., Гейдон А. // М.: «Издательство иностранной литературы», 1949, 240 с.

Результаты эксперимента

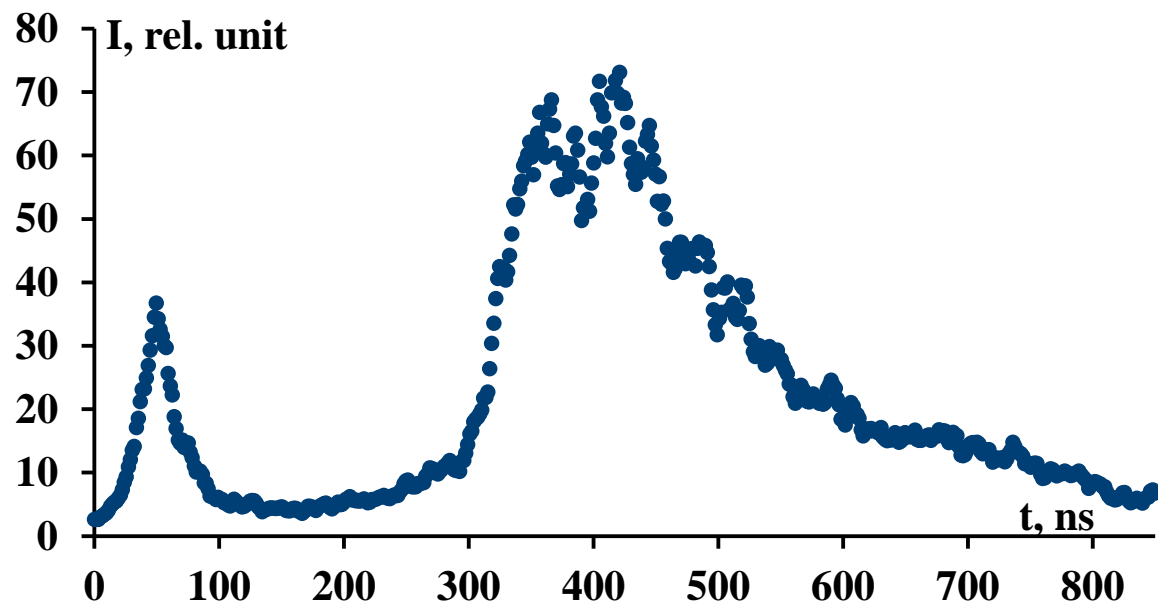


Рисунок 5. Кинетики свечения поликристалла ДАДНЭ соответствующая взрывчатому разложению

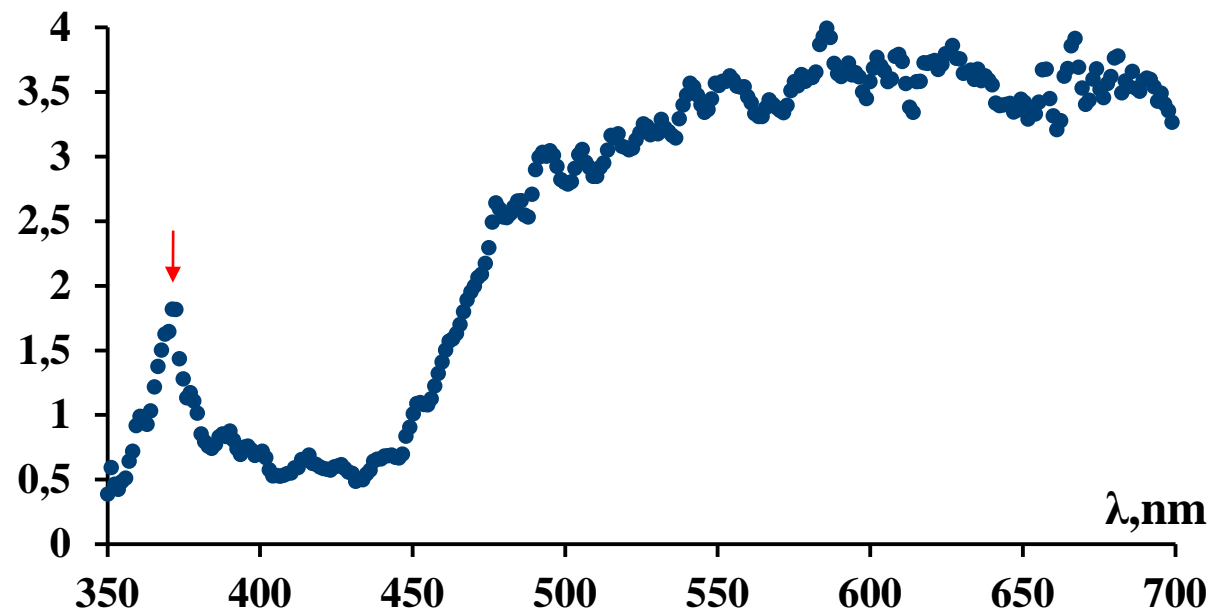


Рисунок 6. Спектр свечения ДАДНЭ через 48 нс от начала импульса (первый максимум (I))

Результаты эксперимента

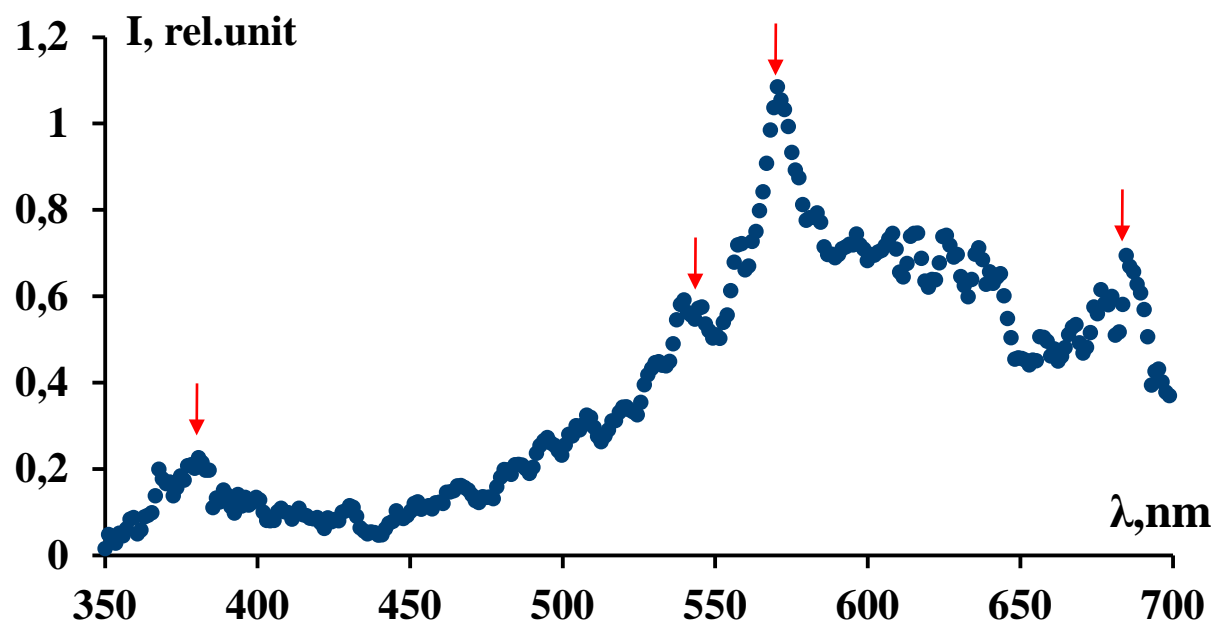


Рисунок 7. Спектр свечения ДАДНЭ через 400 нс от начала импульса (II)

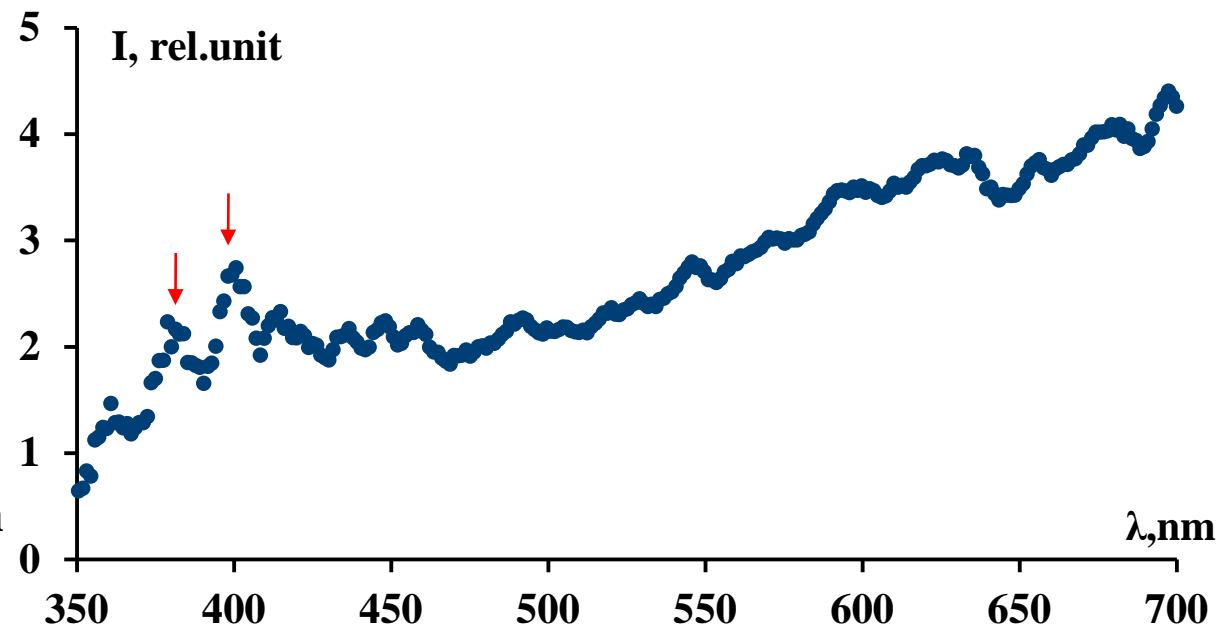


Рисунок 8. Спектр свечения ДАДНЭ через 550 нс от начала импульса (III)

Результаты эксперимента

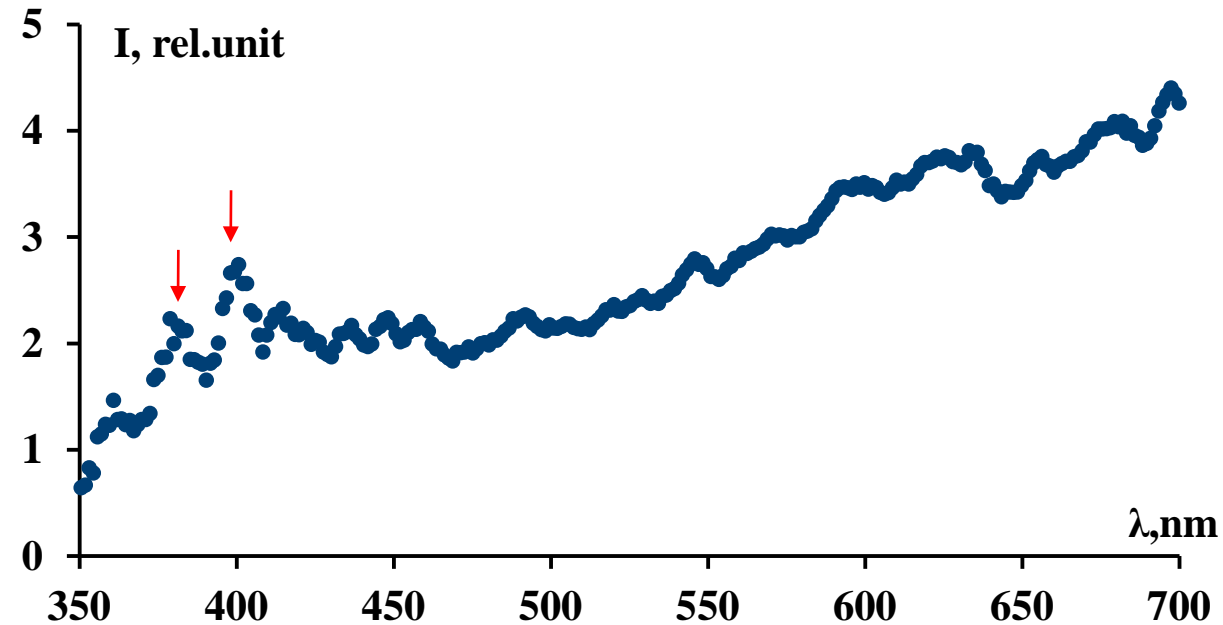


Рисунок 8. Спектр свечения ДАДНЭ через 550 нс от начала импульса (III)

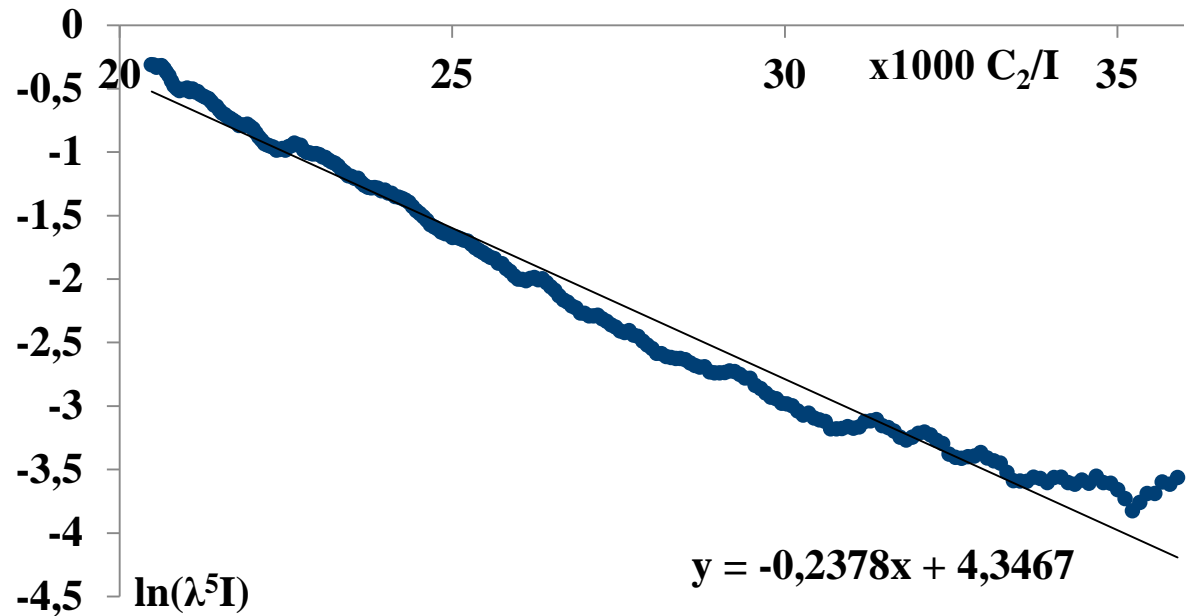


Рисунок 9. Спектр свечения ДАДНЭ в координатах Вина через 550 нс от начала импульса.

По наклону прямой определили температуру $T \approx 4200\text{K}$.
Для монокристаллов тэна $T \approx 3030\text{ K}$, гексогена $T \approx 3500\text{ K}$.

Результаты

максимумы на спектре	380 (II) (III)	400 (III)	538 (II)	570(II)	584(II)	684 (II)
C ₂	382,5	402,6			587,8	684,8
CN			536,5	572,8	584,9	680,9
N ₂			540,7			
N ₂ ⁺	381,8				586,4	
NH ₂			538,5	570,8; 570,7; 570,5; 569,7		
CO	382,5		539,9; 540,2	570,6	581,8; 583,6; 586,1;	680,4
CO ⁺	379,58; 377,78;	401,97; 401,77; 399,96; 399,73; 397,77		569,3	585,65	
CO ₂ и CO ₂ ⁺	383,88; 377,46					

Проведена попытка идентификации продуктов взрывчатого разложения ДАДНЭ в вакууме носящего детонационный характер. Анализ литературных данных позволил сделать предположение приведенные в таблице, а учитывая измерения спектра радиолуминесценции в довзрывном режиме максимум наблюдаемы на спектре в районе 370 нм можно отнести к аннигиляционному свечению свободного экситона.

Booth, R.S.; Butler, L.J. Thermal decomposition pathways for 1,1-diamino-2,2-dinitroethene (FOX-7). // J. Chem. Phys. 2014, 141.

И.В. Чемагина, В.П. Филин, Н.В. Гармашева, М.Б. Казакова, Ю.А. Шахторин, Б.Г. Лобойко Исследование диаминодинитроэтилена (дадне) // ЗНЧ Снежинск, 24-28 сентября 2001 г. Отождествление молекулярных спектров /пер. англ., под ред. Мандельштама С.Л., Аленцева М.Н. / Пирс Р., Гейдон А. // М.: «Издательство иностранной литературы», 1949, 240 с.

Заключение

При воздействии пучка электронов на энергетические материалы с плотностью энергии меньше допороговой, возможно инициирования как взрывчатого разложения носящее детонационный характер, так и низкоскоростного процесса разложения (горения).

Длительность процесса разложения на полувысоте составляет 900 ± 70 нс, что превышает значения для длительности кинетики взрывчатого разложения минимум втрое. Это дает возможность сделать предположение о меньшей скорости развития реакции, соответствующей горению.

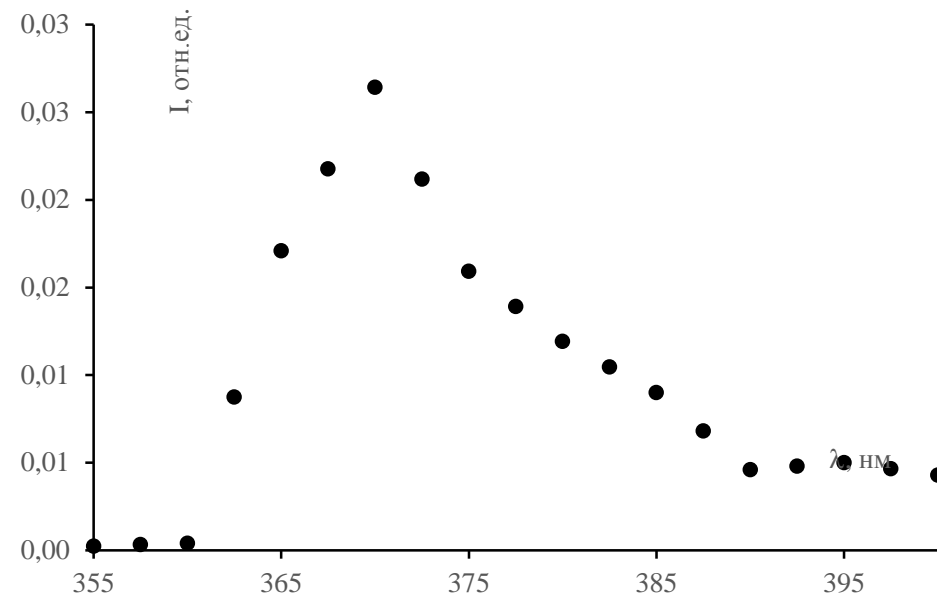
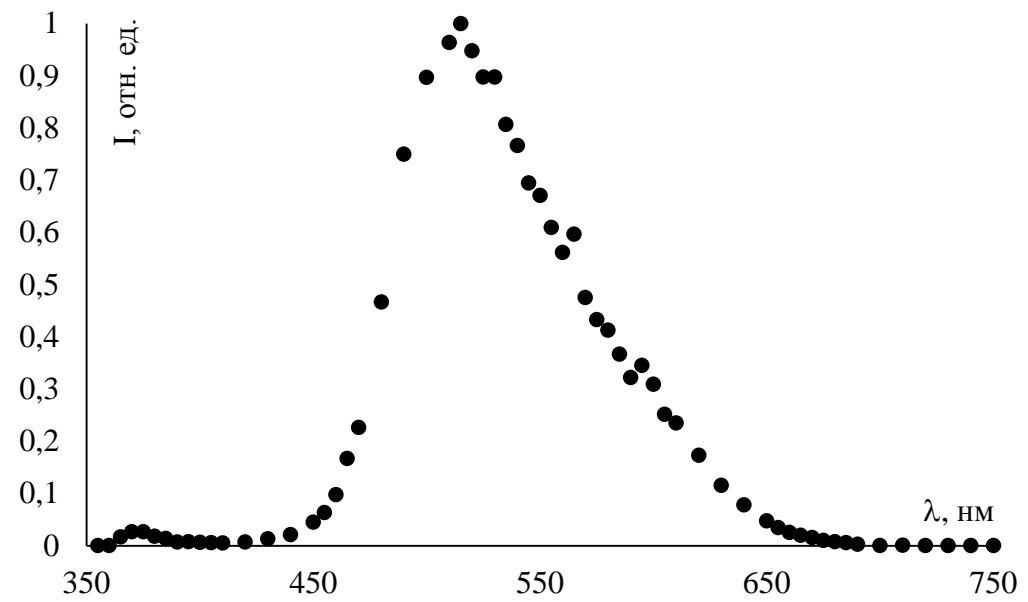
Полученные спектры для горения согласуются с результатами для термического разложения ДАДНЭ.

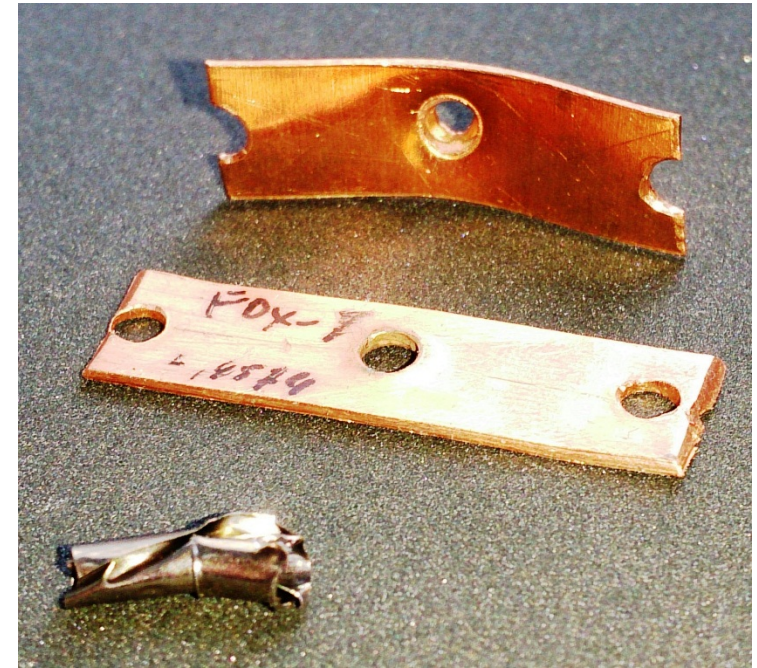
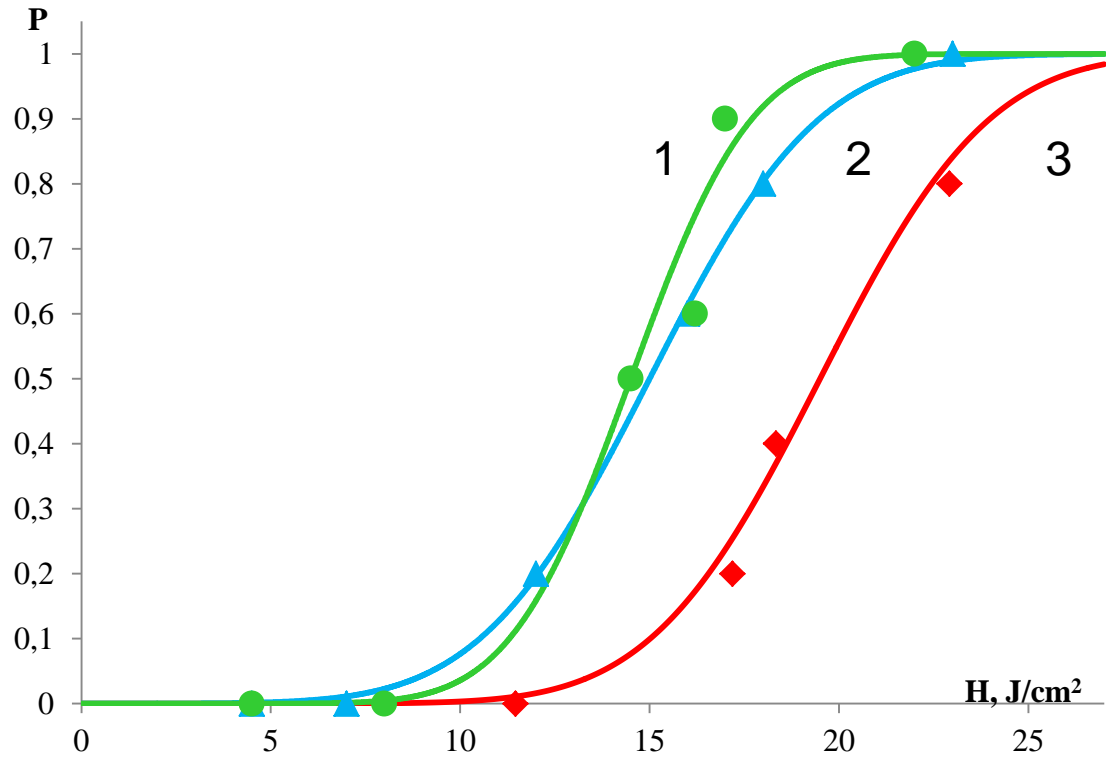
Анализ спектров взрывчатого разложения показал, что при непосредственном воздействии пучка электронов на поликристалл ДАДНЭ спектр имеет схожую полосу с допороговой радиолюминесценцией, с максимумом в районе 370 нм.

При инициировании пучком электронов поликристаллов ДАДНЭ, спектр свечения соответствующий переднему фронту развития химической реакции имеет выраженные полосы свечения. В дальнейшем происходит трансформация в тепловое свечение.

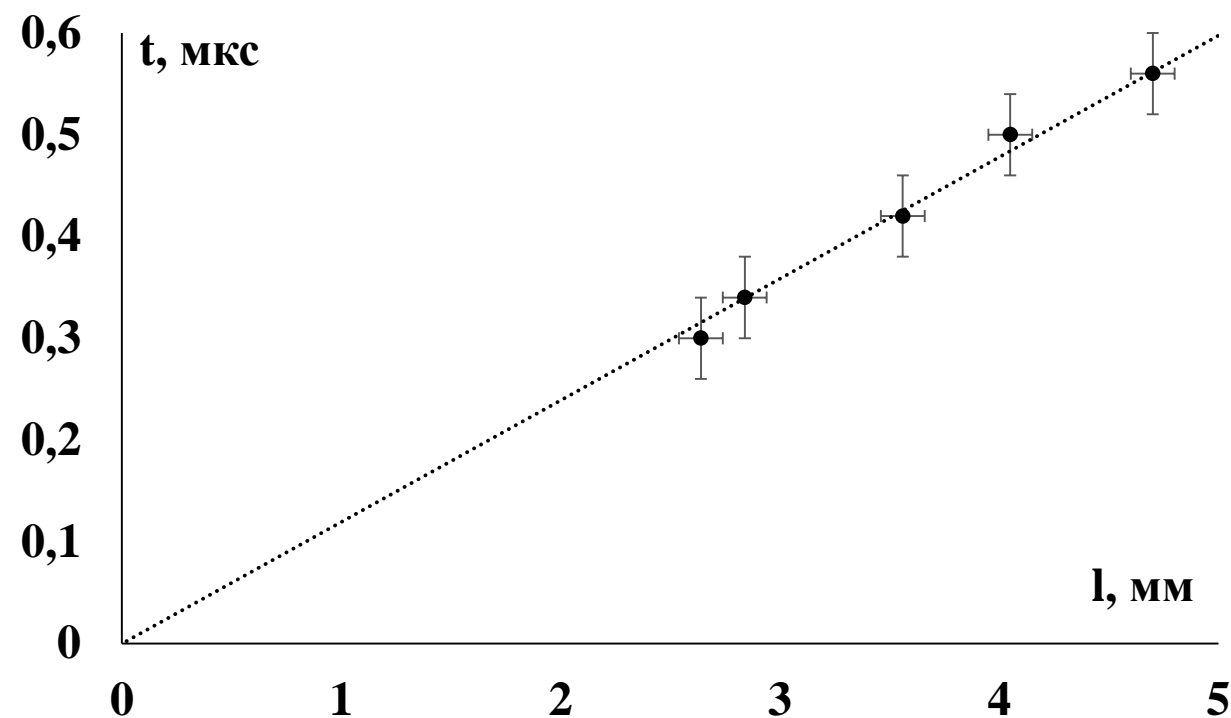
Дальнейший анализ спектров относящихся к детонационному процессу позволит сделать предположения о механизме и этапах разложения ДАДНЭ.

Спасибо за внимание





Вероятность взрывчатого разложения поликристаллов
 1 – PETN, 2 – RDX, 3 - DADNE при иницировании
 пучком электронов



Зависимость времени разлета продуктов взрывчатого разложения ДАДНЭ от расстояния между образцом и пьезопреобразователем

По наклону прямой определялась скорость разлета продуктов взрыва в вакуум, которая составила величину $V_p = 8300 \pm 300$ м/с.