

природы модифицирующего металла. Существенно неравновесные условия получения УДП обуславливают высокую степень дефектности их структуры. Ряд дефектов характерен как для легированных, так и для нелегированного УДП алюминия. Другая часть дефектов обусловлена наличием специфических структурно-фазовых образований. Легирование металлами УДП алюминия должно повышать их реакционную активность (например, интенсифицировать процессы окисления Al на ранних стадиях горения), однако следует ожидать, что степень влияния различных металлов будет различной.

ЛИТЕРАТУРА

1. Энтони У. Х. и др. Алюминий: свойства и физическое металловедение.— М.: Металлургия, 1989.
2. Морохов И. Д., Трусов Л. И. Ультрадисперсные металлические среды.— М.: Атомиздат, 1977.
3. Петров Ю. И. Физика малых частиц.— М.: Наука, 1982.
4. Swanson H. E., Tatge E. Standard X-ray diffraction powder patterns. National Bureau of Standards, Circular 539.— 1953.— V. 1.
5. Having E. et al. // J. Less-Common Metals.— 1972.— 27.— P. 169.
6. Hornbogen E. // Aluminium.— 1969.— 43.— P. 115.
7. Cooper J. // Acta Crystallogr.— 1960.— 13.— P. 257.

г. Минск

Поступила в редакцию 13/VIII 1991

УДК 662.215.4

С. М. Рябых, В. С. Долганов, К. Ш. Карабукаев

НЕТЕРМИЧЕСКОЕ ИНИЦИИРОВАНИЕ ВЗРЫВА АЗИДОВ СЕРЕБРА И СВИНЦА ИМПУЛЬСОМ БЫСТРЫХ ЭЛЕКТРОНОВ

На основании сравнительного анализа литературных данных по возбуждению детонации инициирующих ВВ простым энергетическим импульсом (удар, трение, вспышка света, луч огня), интерпретируемых с помощью тепловой теории взрыва, и экспериментальных результатов по инициированию взрыва ВВ импульсом быстрых электронов, рассматривается модель нетермического инициирования взрыва азидов серебра и свинца при облучении их плотным пучком быстрых электронов. Предполагается, что в данном случае очаг инициирования находится в области с сильно возбужденной электронной подсистемой, образуемой путем концентрирования генерируемых излучением свободных электронов и дырок.

Для интерпретации возбуждения детонации в инициирующих взрывчатых веществах (ИВВ) при импульсном энергетическом воздействии с успехом использовалась тепловая теория взрыва [1], в которой рассматривалось преобразование механической или световой энергии в тепловую с дальнейшим созданием очага инициирования («горячей точки», размеры которого 0,1—10 мкм, а температура 400—600 °С) или зажигания ИВВ сильно поглощающими свет посторонними включениями (продуктами медленного химического разложения, которые при воздействии лазерного импульса нагреваются до температуры вспышки [2]). Однако такой подход вызывает серьезные трудности при интерпретации результатов по инициированию взрыва ИВВ лазерными и электронными импульсами, при которых минимальная энергия инициирующего импульса составляет для азидов тяжелых металлов сотые доли джоулей на квадратный сантиметр [2, 3], что дает разогрев приповерхностного слоя на несколько десятков градусов, тогда как температура вспышки этих веществ ~300 °С [4]. Это позволяет предположить существование нетеплового механизма возбуждения детонации ИВВ при воздействии коротких импульсов излучения.

В данной работе представлены результаты по иницированию типичных ИВВ — азидов серебра и свинца импульсами быстрых электронов, позволяющими исключить реализацию предложенного авторами [2] механизма зажигания ИВВ сильнопоглощающими включениями, поскольку, если коллоидный металл или частицы сажи поглощают свет в 100—1000 раз более эффективно, чем ИВВ, то для быстрых электронов коэффициент поглощения коллоидного металла не более чем в 1,5 раза превышает таковой для азидов серебра и свинца, а частицы сажи имеют коэффициент поглощения меньше, чем азид.

Кристаллы азидов серебра и свинца выращивали из насыщенных растворов этих веществ в воде NH_3 и $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ соответственно путем испарения растворителя при комнатной температуре (AgN_3) или медленного охлаждения от 95°C до комнатной температуры ($\text{Pb}(\text{N}_3)_2$). Кристаллы имели форму игл с размерами $\sim 1 \times 1 \times 0,5$ мм. Измерения проводили на установке импульсного радиолиза [5].

В качестве источника излучения использовался сильноточный импульсный ускоритель электронов с длительностью импульса 18 нс, током в импульсе до 2 кА, максимальной энергией электронов 300 кэВ. Образцы помещали в криостат с остаточным давлением $\leq 0,1$ Па. Температуру образца поддерживали с точностью ± 2 К.

Прежде всего были определены пороговые значения интегральных энергий импульса w , которые иницируют взрывное разложение кристаллов AgN_3 и $\text{Pb}(\text{N}_3)_2$. В работе [6] показано, что именно значение w является критерием иницирования взрыва ИВВ импульсами электронов наносекундной длительности. Установлено, что процесс происходит в диапазоне $w = 0,02 \div 0,07$ Дж/см², причем понижение температуры от 300 до 90 К приводит к незначительному уменьшению критических значений w .

Среднее по объему повышение температуры в результате воздействия импульсов электронов в адиабатическом приближении можно оценить по формуле $\Delta T = \bar{D}/c$, где $\bar{D} = w/L$ — средняя поглощенная доза; c — теплоемкость вещества; L — пробег электронов в веществе. Для AgN_3 и $\text{Pb}(\text{N}_3)_2$ при энергии электронов 0,3 МэВ, согласно [7], $L \approx 60$ мг/см², значения c для AgN_3 и $\text{Pb}(\text{N}_3)_2$ составляют 0,117 и 0,100 кал/(г·град) соответственно [1]. В результате получаем $\Delta T \leq 30$ К. Оценка максимального повышения температуры ΔT_{max} с учетом конфигурации дозного поля в образце дает ~ 110 К. Приведенные данные позволяют предположить нетермический механизм иницирования взрыва AgN_3 и $\text{Pb}(\text{N}_3)_2$ импульсами электронов, поскольку ни макро-, ни микроразогрев не могут обеспечить требуемое повышение температуры, а ее понижение до 90 К приводит даже к незначительному уменьшению $w_{\text{кр}}$.

Изучение кинетики взрывного разложения методом скоростной оптической спектроскопии позволило установить (рис. 1), что после этапа возбуждения, равного длительности импульса электронов, в течение которого происходит возбуждение электронной подсистемы азиды, наступает индукционный период (0,2—0,5 мкс). Его длительность приблизительно обратно пропорциональна w , а спектральные характеристики кристалла заметно не меняются. Далее оптическая плотность D начинает возрастать вплоть до полной потери кристаллом прозрачности. Из приведенной на рис. 2 температурной зависимости длительности индукционного периода t_1 и эффективной константы роста оптической плотности k в интервале $T = 90 \div 373$ К следует, что при понижении T значение t_1 возрастает, а k уменьшается, однако функционально зависимости $t_1 = f(T)$ и $k = f(T)$ не описываются законом Аррениуса.

Очевидно, что в течение индукционного периода образуется очаг иницирования. При тепловом иницировании таким очагом служит так называемая «горячая точка» центром которой могут быть, например, сильнопоглощающие включения [2]. Однако в случае электронного излучения роль их незначительна, поэтому можно предположить, что очаг

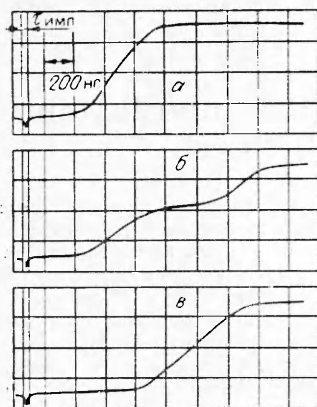


Рис. 1. Кинетические кривые изменения оптической плотности в ходе взрывного разложения AgN_3 , инициируемого импульсом электронов.

w , Дж/см²: а — 0,14, б — 0,11, в — 0,09;
 λ , нм: а — 510, б — 400, в — 360.

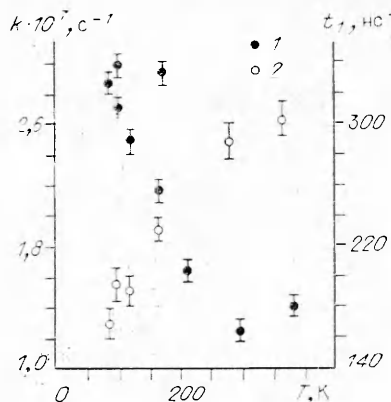


Рис. 2. Температурная зависимость длительности индукционного периода t_1 (1) и константы роста оптической плотности k (2) взрывного разложения AgN_3 , инициированного импульсом электронов.

иницирования образуется за счет концентрирования термализованных носителей — зонных электронов и дырок, время жизни которых в AgN_3 и $\text{Pb}(\text{N}_3)_2$, согласно [8], составляет $\sim 10^{-6}$ с, что по порядку величины совпадает с t_1 . Концентрирование электронов и дырок может привести к образованию электронно-дырочной капли, концентрация носителей в которой, согласно расчетам, достигает $5 \cdot 10^{20}$ см⁻³, что лишь в 30—50 раз меньше концентрации собственных ионов. Критическая температура, выше которой капля существовать не может, определяемая из соотношения $kT_{\text{кр}} \approx 0,1E_{\text{ex}}$ [9], где E_{ex} — энергия экситонов, в случае AgN_3 и $\text{Pb}(\text{N}_3)_2$ составляющая десятые доли электрон-вольт [10], превышает комнатную температуру. Это позволяет рассматривать каплю электронно-дырочной жидкости в азидах как возможный очаг инициирования, образование которого, т. е. достижение критического размера, происходит в течение индукционного периода. После этого в ней начинается цепная химическая реакция взрывного разложения и очаг инициирования превращается в очаг детонации. При этом слабо выраженные температурные зависимости пороговых значений энергий импульса и длительностей индукционного периода могут быть обусловлены лишь температурными зависимостями подвижностей свободных электронов и дырок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Боуден Ф., Поффе А. Быстрые реакции в твердых веществах.— М.: ИЛ, 1962.— С. 42—78.
2. Александров Е. П., Вознюк А. Т. Иницирование азидов свинца лазерным излучением // ФГВ.— 1978.— 14, № 4.— С. 86.
3. Карабанов Ю. Н., Боболев В. К. Зажигание ИВВ импульсом лазерного излучения // Докл. АН СССР.— 1981.— 256, № 5.— С. 1152.
4. Багал Л. П. Химия и технология инициирующих взрывчатых веществ.— М.: Машиностроение, 1975.— С. 203—261.
5. Борисова Н. А. и др. Спектры оптического поглощения и кинетические параметры продуктов радиолиза хлоратов натрия и калия // Химия высоких энергий.— 1986.— 20, № 3.— С. 237.
6. Рябых С. М., Долганов В. С. Критерии возбуждения взрывного разложения азидов серебра импульсом излучения // ФГВ.— 1992.— 28, № 4.
7. Рябых С. М., Сафонов Ю. Н. Сильноточные импульсные пучки в технологии.— Новосибирск: Наука, 1983.— С. 73.
8. Сидорин Ю. Ю., Дьямант Г. М., Олейников Ю. Э. Фотоэлектрические характеристики монокристаллов азидов свинца.— Кемерово, 1985. Деп. № 6025—85.
9. Energetic materials. 1. Physics and chemistry of inorganic azides/Ed. H. D. Fair, R. E. Walker.— N. Y.; L.: Plenum Press, 1977.
10. Райс Г., Хенсен Дж., Филлипе Т. и др. Электронно-дырочная жидкость в полупроводниках.— М.: Мир, 1980.— С. 79.

г. Кемерово

Поступила в редакцию 5/У 1992,
 после доработки — 7/У 1992