

04;06;10

О физической природе свечения и поглощения, сопровождающих взрывное разложение азидов тяжелых металлов

© В.И. Олешко, В.И. Корепанов, В.М. Лисицын, В.П. Ципилев

Томский политехнический университет
E-mail: oleshko@tpu.ru

Поступило в Редакцию 12 мая 2004 г.

Представлены результаты исследования пространственно-временных параметров свечения и поглощения, возникающих в процессе взрывного разложения азидов серебра, инициируемого импульсным электронным пучком. Показано, что взрывное свечение и поглощение, наблюдаемые после индукционного периода, отражают процесс формирования и разлета продуктов химического разложения азидов серебра.

Механизм взрывного разложения азидов тяжелых металлов (АТМ), инициируемого импульсными электронными и лазерными пучками, до сих пор во многом остается неясным и дискуссионным [1–5]. Одним из наиболее перспективных методов изучения первичных процессов взрывного разложения АТМ являются исследования кинетики свечения и поглощения, сопровождающих взрыв, с наносекундным временным разрешением. В [2,3] было установлено, что кинетика свечения имеет сложный характер: первый пик наблюдается после индукционного периода с запаздыванием на $0.2 \mu\text{s}$ относительно импульса возбуждения и длится $1\text{--}1.5 \mu\text{s}$, второй — через $2.5 \dots 7 \mu\text{s}$. Высказано предположение о том, что первый пик со сплошным спектром свечения и синхронно с ним формирующееся оптическое поглощение в области возбуждения обусловлены процессами, протекающими в твердой фазе до механического разрушения образца (названные „предвзрывной люминесценцией“ и „предвзрывным оптическим поглощением“). Второй пик свечения, имеющий линейчатый спектр, определяется по [2] излучением плазмы, образующейся в момент взрывного разложения АТМ. В [6] было обнаружено, что при возбуждении импульсом потока

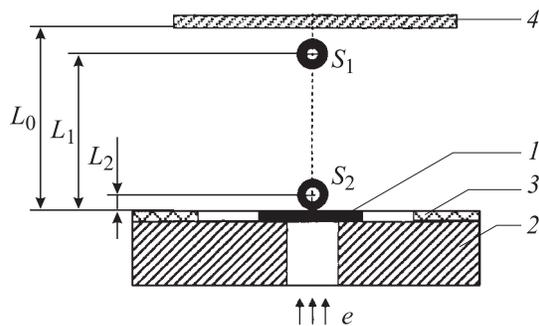


Рис. 1. Схема зондирования свечения и пропускания продуктов взрывного разложения азида серебра.

ускоренных электронов наблюдается безынерционный пик свечения с характерными свойствами импульсной катодолуминесценции (ИКЛ) широкозонных полупроводников: длительность при 300 К менее 20 ns, спектр в коротковолновой области ограничен собственным фундаментальным поглощением материала. Таким образом, два пика свечения с длительностью первого менее 20 ns и с запаздыванием второго на $0.2 \mu\text{s}$ и длительностью $1\text{--}1.5 \mu\text{s}$ приписываются люминесценции образца в твердой фазе, что представляется маловероятным.

Целью настоящей работы является изучение пространственно-временных характеристик свечения, возникающего при возбуждении азида серебра электронным пучком, установление природы инерционных пиков свечения и поглощения, формирующихся после индукционного периода. Основная задача заключалась в том, чтобы отделить свечение плазмы от люминесценции образца, установить момент фазового перехода в исследуемом материале.

Для изучения динамики формирования и разлета продуктов взрыва использовалась схема, приведенная на рис. 1. Взрыв инициировался электронным пучком с эффективной энергией электронов $\sim 0.3 \text{ MeV}$, длительностью импульса $\sim 25 \text{ ns}$ и плотностью энергии в импульсе $\sim 0.1 \text{ J/cm}^2$. Объектом исследования служил порошкообразный азид серебра в виде таблеток $200\text{--}300 \mu\text{m}$ толщиной и 5 mm диаметром, полученных прессованием под давлением 10^9 Pa . Образец 1 располагался на держателе 2, имеющем отверстие для прохождения электронного пучка,

и закрывался кольцевым экраном 3. Толщина экрана (4) d_1 составляла $d_1 \geq d_2$, d_2 — толщина образца. На расстоянии L_0 от поверхности экрана устанавливалась преграда, которая тормозила продукты взрыва. Для измерения оптического пропускания продуктов взрывного разложения на заданном расстоянии L_1 параллельно тыльной поверхности образца направлялся зондирующий коллимированный пучок лазерного излучения (He–Ne-лазер, $\lambda = 632.8 \text{ nm}$). Регистрировалось изменение потока зондирующего излучения, прошедшего через плазму факела взрывного разложения, со временем после возбуждения образца. Изображение образца и прилегающей к нему зоны разлета плазмы проецировались линзами на входные щели двух монохроматоров МДР-23. Приведенная схема позволяла одновременно с помощью двух фотоприемников ФЭУ-118 регистрировать кинетику свечения и оптического пропускания продуктов взрывного разложения AgN_3 на заданном расстоянии от тыльной поверхности образца. Сигналы с фоторегистраторов обоих каналов (свечение и пропускание) поступали на согласованные нагрузки $R = 50 \Omega$ двухлучевого осциллографа С8-14. Взрывное свечение и пропускание могли регистрироваться из любой зоны разлета плазменного факела. Размеры этих зон определялись шириной щелей монохроматоров и диаметрами диафрагм соответственно $S_1 = 0.5 \text{ mm}$ и $S_2 = 2 \text{ mm}$, которые устанавливались перед входными щелями монохроматоров МДР-23. Так как в схеме, представленной на рис. 1 на фоторегистратор, измеряющий кинетику свечения, не могло поступать свечение от образца AgN_3 , то можно утверждать, что любое регистрируемое им свечение имеет место за пределами образца и обусловлено продуктами взрыва, возникающими в результате разложения AgN_3 . Типичные кинетические характеристики свечения ($\lambda = 600 \text{ nm}$) и оптического пропускания продуктов взрыва, полученные из зоны, прилегающей к тыльной поверхности AgN_3 ($L_1 = L_2 = 0.2 \text{ mm}$), и из зоны, прилегающей к преграде ($L_1 = L_2 = 9 \text{ mm}$), представлены соответственно на рис. 2, *a, b*, измеренные при панорамном обзоре всей области разлета плазменного факела, ограниченного преградой, — на рис. 2, *c*. Начало координаты времени соответствует моменту возбуждения образца электронным пучком. Из осциллограмм, представленных на рис. 2, *a, b*, следует, что свечение и поглощение продуктов взрывного разложения начинаются с задержкой $t_1 = t_2 + t_3$, где t_2 — индукционный период; t_3 — время распространения плазменного факела до области зондирования. Видно, что при $L_1 = 0.2 \text{ mm}$ время задержки составляет $\sim 300\text{--}400 \text{ ns}$, а при

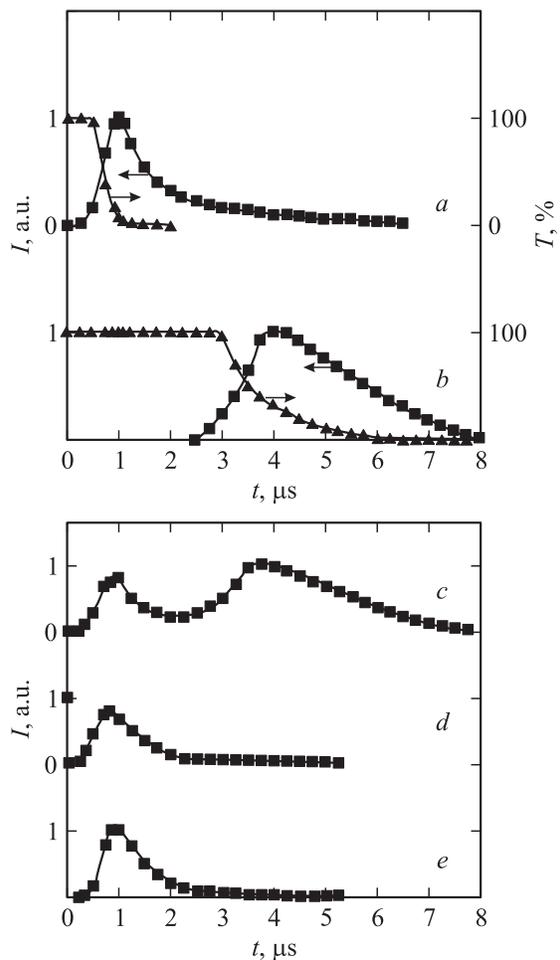


Рис. 2. Кинетики свечения и пропускания, сопровождающих взрывное разложение азид серебра.

$L_1 = 9 \text{ mm}$ $t_1 \sim 2.8\text{--}3 \mu\text{s}$. Кинетика свечения, измеренная при панорамном обзоре всей области распространения факела, имеет два пика. Для получения полной кинетической кривой свечения, сопровождающего взрывное разложение AgN_3 , нами была использована схема, в которой

образец располагался под углом 45° к направлению распространения электронного пучка и к оптической оси регистрирующего тракта. Схема позволяла (без пространственного разрешения) регистрировать все виды свечения, инициируемые электронным пучком, со стороны облучаемой поверхности образца. Регистрировались осциллограммы свечения при различных условиях эксперимента. Одна из них (рис. 2, *d*) была получена при свободной облучаемой поверхности образца, вторая (рис. 2, *e*) — при возбуждении поверхности, закрытой тонкой ($d \sim 10 \mu\text{m}$) алюминиевой фольгой. Фольга прозрачна для электронного пучка и не прозрачна для света. Сравнение осциллограмм свидетельствует о том, что в первом случае наблюдается два пика свечения: пик ИКЛ и следующий, с задержкой $\sim 0.2 \mu\text{s}$. Во втором случае ИКЛ не наблюдается, так как излучение не выходит за пределы фольги, но следующий пик наблюдается, так как фольга разрывается продуктами взрывного разложения. Максимум последнего сдвинут по времени на $\sim 100 \text{ps}$ по отношению к аналогичному, регистрируемому с образца, имеющему свободную (без фольги) поверхность, так как продукты взрыва задерживаются на некоторое время фольгой. Приведенные выше факты однозначно свидетельствуют о плазменной природе инерционных пиков свечения и хорошо соответствуют теории взрывного разложения. Действительно, согласно [7], продукты взрыва в начальной его фазе представляют собой плотную, сжатую до давления $3 \cdot 10^{10} \text{Pa}$ плазму, температура которой достигает $\sim 3500\text{--}4500 \text{K}$. Максимум интенсивности сплошного спектра такой плазмы будет находиться в области $\sim 700\text{--}800 \text{nm}$. Именно в этом диапазоне длин волн по [3] расположен максимум интенсивности „предвзрывной люминесценции“.

Кинетические характеристики свечения и поглощения, сопровождающие процесс взрывного разложения AgN_3 , объясняются нами следующим образом. В момент воздействия электронного пучка на образец возникает ИКЛ AgN_3 с длительностью, равной длительности импульса возбуждения ($\sim 25 \text{ns}$). После окончания индукционного периода, через $\sim 0.2 \mu\text{s}$, в результате разложения AgN_3 в зоне облучения и прилегающей к ней области формируется плотный сгусток низкотемпературной плазмы. Этому моменту времени соответствует фронт нарастания первого инерционного пика свечения и синхронно с ним формирующегося поглощения. Кинетика спада этого компонента свечения определяется свободным разлетом плазменного факела в вакуум. Дальнейший разлет плазменного факела в вакуумной камере никак не проявляет себя

в оптическом излучении, но всегда регистрируется в поглощении. Второй пик свечения формируется только в том случае, если на пути плазменного факела установлена преграда.

Таким образом, проведенные исследования свидетельствуют о том, что люминесценция образца AgN_3 происходит только в момент облучения образца электронным пучком. Следующий за ИКЛ инерционный пик свечения обусловлен газообразными продуктами взрывного разложения вблизи возбуждаемой поверхности образца.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 04–02–16339) и Минобразования (Гос. рег. № 01200315128).

Список литературы

- [1] Александров Е.И., Ципилев В.П. // ФГВ. 1981. Т. 17. № 5. С. 77–81.
- [2] Адуев Б.П., Алукер Э.Д., Захаров Ю.А. и др. // ПЖЭТФ. 1997. Т. 66. В. 2. С. 101–103.
- [3] Захаров Ю.А., Алукер Э.Д., Адуев Б.П. и др. Предвзрывные явления в азидах тяжелых металлов. М.: ЦЭИ „Химмаш“, 2002. 115 с.
- [4] Ципилев В.П., Корепанов В.И., Лисицын В.М. и др. // Изв. ТПУ. 2003. Т. 306. № 6. С. 46–53.
- [5] Рябых С.М., Долганов В.С., Карабукаев К.Ш. // ФГВ. 1993. Т. 29. № 2. С. 75–77.
- [6] Корепанов В.И., Лисицын В.М., Олешко В.И. // ПЖТФ. 2002. Т. 28. В. 24. С. 48–52.
- [7] Юхансон Ю., Персон П. Детонация взрывчатых веществ. / Под ред. В.К. Боболева. М.: Мир, 1973. 352 с.