

УДК 621.373:521.112(575.2)(04)

ЛАЗЕРНО-ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНОЕ ИСПАРЕНИЕ ГРАФИТОВЫХ ОБРАЗЦОВ

С.А. Токтогонов – канд. физ.-мат. наук, доц.

Т.А. Куручбеков – доц.

А. Ганыева – ст. преподаватель

КНУ им. Ж. Баласагына

The research of laser-electro-discharge evaporation of graphite samples is described in the article. It was shown that at electric field longitudinal imposition on the sample, submitted to continuous laser radiation, the evaporation occurred at different channels.

В последнее время интерес исследователей привлекают различные способы получения и использования наноматериалов, обладающих уникальными свойствами. Причем спектр приложений наноматериалов очень широк – от создания на основе наночастиц активных элементов (транзисторов, диодов) до использования фуллеренов в медицине и фармакологии [1–4]. Поэтому разработка различных методов получения наносистем является одним из актуальных задач современной науки. Традиционно наноматериалы получают путем лазерного испарения различных образцов в особой среде, например, в среде инертных газов, или электроразрядным испарением в среде инертных газов [1]. Механизмы образования наносистем до конца не изучены, но вместе с тем можно отметить следующие условия их получения. В первую очередь, необходима атомизация веществ, из которых затем требуется получить наносистемы. В дальнейшем необходимо создать условия образования наносистем из атомизированного пара. Причем при образовании наносистем необходима диссипативная энергия, которая расходуется на строение наносистемы.

На основании изложенного выше, представляется целесообразным исследование совместного действия лазерного излучения (ЛИ)

и сильного электрического поля (ЭП) на различные образцы. В данной работе исследуются процессы испарения графитовых образцов при совместном действии непрерывного CO₂-лазера и коронного разряда, образующегося при наложении на образец сильного ЭП.

Схема экспериментального стенда приведена на рисунке. Сфокусированное линзой из КС1 (3) излучение (2) непрерывного ЛИ CO₂ лазера (1) мощностью до 50 Вт, проходя через отверстия на верхней стороне камеры (4) и на верхней пластине (5), падает на образец (7), расположенный на нижней пластине (6). Напряжение на пластины подаются с высоковольтного выпрямителя УВ-160-2,5 (9), управление которым осуществляется с пульта (10). Для регистрации тока *I* и напряжения *U* в цепи между пластинами сигнал со схем измерения тока и напряжения в пульте управления подается на самописцы типа НЗ07 (13, 14) через сглаживающие фильтры (11, 12). Переключением полярности подаваемого напряжения менялось направление электрического поля. Ошибка установки напряжения достигает 10%, а тока – 10–30% в режиме без пробоев и до 50% при образовании пробоев. При фиксированных значениях межпластинного расстояния в интервале 1–5 см напряжения на пластинах достигали 50–60 кВ.

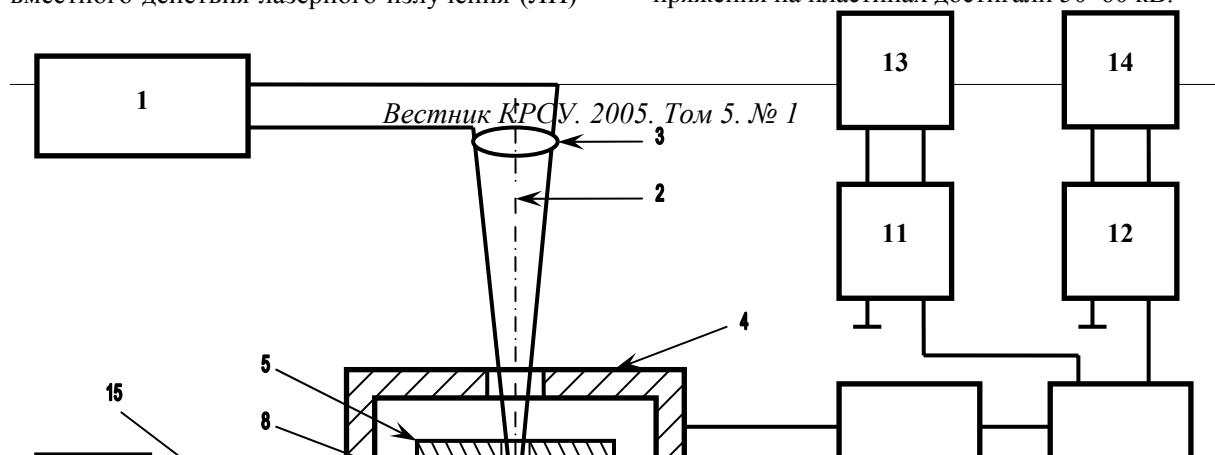


Схема экспериментального стенда.

Целью эксперимента было изучение совместного воздействия непрерывного ЛИ и сильного ЭП на графитовые образцы. Образцы представляли собой форму цилиндра длиной 10 мм и диаметром 6 мм. Мощность непрерывного ЛИ была равна 50 Вт. Диаметр пучка ЛИ на поверхности образца составлял 0,03 см. Интенсивность ЛИ $I = 2 \cdot 10^4$ Вт/см². Образец ставили в зоне фокусировки ЛИ торцом вверх в нижней пластине экспериментального стенда. Эксперименты проводились в три этапа.

Предварительно было изучено воздействие только ЛИ на образец. Облучение проводилось 10 мин. При этом наблюдалась следующая картина процесса:

а) в начальный момент времени происходило раскаливание верхнего торца образца;

б) с увеличением экспозиции наблюдалось испарение и выброс вещества мишени;

в) в дальнейшем увеличивалось испарение вещества, причем можно различить три канала выброса вещества:

1 – большее количество вещества эродировало и собиралась вокруг образца на нижней

пластине. Эти эродированные вещества имеют небольшую скорость выброса;

2 – часть вещества выбрасывалась с относительно большой скоростью и осаждалась на верхней пластине;

3 – часть вещества выбрасывалась и снова оседала по всей поверхности нижней пластины на некотором отдалении от мишени.

После облучения остаток образца представлял собой конус высотой ~3 мм и диаметром ~3 мм. Основная часть эродированного вещества осаждалась вокруг образца, приблизительно одинаковое количество – на верхней пластине и на нижней пластине вдали от мишени.

Затем проводили эксперименты по совместному воздействию непрерывного ЛИ и сильного ЭП на образец. ЭП создавали с помощью высоковольтного выпрямителя УВ-160, с которого подавалось напряжение на пластины экспериментального стенда, на нижней находился графитовый образец. Причем сначала отрицательный потенциал подавался на верхнюю пластину. Напряжение между пластина-

ми равнялось 55 кВ, ток 115 мкА. Время воздействия, как и в предыдущем случае, длилось 10 мин. При этом наблюдались аналогичные, ранее описанным процессы. Только интенсивность испарения графитовых образцов была выше. В этом случае предварительно включалось сильное ЭП. Создаваемое этим полем напряжение между иглой, опущенной вниз, с верхней пластины и верхним торцом графитового образца обуславливало образование пробойных каналов. Эти пробойные каналы представляют разновидность коронного разряда. После включения лазерного излучения происходит нагрев и раскаление графитового образца. С увеличением экспозиции начинается сублимация графитового образца. При этом пробойные каналы могут видоизменяться: повышается их интенсивность, у торца мишени, где имеются эродированные пары при высокой температуре, образуется диффузное свечение, которое затем заменяет пробойные каналы на всем промежутке между торцом мишени и концом иглы. После облучения графитовый образец почти полностью испаряется, остаток имеет размеры порядка 1–1,5 мм. Сравнение этих двух экспериментов показывает, что при совместном воздействии непрерывного ЛИ и сильного ЭП на графитовые образцы разрушаемость последних возрастает, чем при воздействии только ЛИ. Вероятно, это связано с дополнительным разрушающим действием коронного разряда, образующегося между верхним торцом образца и иглой на верхней пластине, а также наличием сильного ЭП в зоне облучения образца.

Далее эксперименты проводили с обратной, предыдущему случаю, полярностью ЭП, т.е. теперь высокий отрицательный потенциал подается на нижнюю пластину. После выставления в зону облучения графитового образца между верхней иглой и образцом было подано ЭП напряжением 55 кВ. При этом между концом иглы и верхним торцом образца образуются интенсивные пробойные каналы, сопровождающиеся характерным шипением. Ток пробойных каналов равнялся 120 мкА. Затем включали ЛИ, сфокусированное на поверхность торца графитового образца. Через некоторое время (~1 мин.) образец начинает раска-

ляться и испарение усиливается. В этот момент пробойные каналы периодически переходят в диффузный канал (преимущественно в нижней части около торца образца), представляющий собой разновидность коронного разряда. В дальнейшем сублимация графита усиливается и большинство продуктов осаждается на верхней пластине. В процессе облучения образец постепенно укорачивается и, видимо, это является причиной того, что разряд перешел в режим интенсивных пробоев (так как режим диффузного свечения наступает при больших напряжениях ЭП). По мере развития процессов ток разряда постепенно увеличивался от 120 мкА до 140 мкА. По истечении 10 мин облучения от образца с высотой 10 мм и диаметром 6 мм остался маленький осколок размером 1–1,5 мм. После проведения эксперимента было обнаружено, что большинство продуктов испарения осаждалось на верхней пластине и только незначительная часть на нижней.

Измерение сопротивлений эродированных порошков по различным каналам испарения показало уменьшение их значений в случае наложения ЭП. Нагревание порошков также ведет к уменьшению сопротивления (см. таблицу).

Вид порошков	R, Ом, при T=25 ⁰ C	R, Ом, при T=250 ⁰ C
Тертый графитовый	2.4	1.5
Лазерное испарение	2.4	1.1
На нижней пластине, вокруг образца	2.2	0.7
На нижней пластине, вдали от образца	2.0	0.86
На верхней пластине	1.9	0.81

Таким образом, можно констатировать, что совместное воздействие непрерывного ЛИ и сильного ЭП сопровождается образованием коронного разряда между торцом графитовой мишени и концом иглы, служащей верхним электродом. Сублимация графитовой мишени идет по трем каналам:

- 1) некоторое количество вещества эродирует и собирается вокруг образца на нижней пластине;
- 2) часть вещества выбрасывалось с относительно большой скоростью и осаждалось на верхней пластине;

3) часть вещества выбрасывалась и оседала по всей поверхности нижней пластины в некотором отдалении от мишени.

Причем при отрицательной полярности ЭП на нижней пластине большинство продуктов эрозии осажается на верхней пластине, а в случае отрицательной полярности – на верхней пластине и в отсутствие ЭП большинство продуктов эрозии осажается на нижней пластине вокруг образца.

Литература

1. Гусев А.И. Нанокристаллические материалы: методы получения и свойства. – Екатеринбург, 1998.
2. Помогайло А.Д., Розенберг А.С., Уфлянд И.Е. Наночастицы металлов в полимерах. – М., 2000.
3. Помогайло А.Д. // Усп. химии. – 2000. – № 69. – С. 60.
4. Ролдугин В.И. // Усп. химии. – 2000. – № 69. – С. 899.