

ЛАЗЕРНО-ПЛАЗМЕННЫЙ ИСТОЧНИК ИОНОВ С РЕГУЛИРУЕМОЙ СКОРОСТЬЮ ДЛЯ ОСАЖДЕНИЯ НАНОПЛЕНОК

М. В. Гончаров¹, М. В. Пузырев¹, Е. И. Козлова², В. Ю. Ступакевич³

¹Научно-исследовательское учреждение «Институт прикладных физических проблем им. А.Н.Севченко» Белорусского государственного университета, puzyrev@bsu.by

²Белорусский государственный университет

³Гродненский государственный университет имени Янки Купалы

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время процесс контроля режимов нанесения покрытий лазерно-плазменным методом определяется в основном изменением плотности мощности взаимодействующего лазерного излучения и расстояния от подложки до лазерной мишени [1]. При этом следует учесть, что эрозионный лазерный факел в вакууме имеет достаточно сложную пространственную структуру: формирование двойного электрического слоя, достаточно сложного взаимодействия электронных и ионных потоков на фоне плазмодинамических процессов [2]. Настоящая работа посвящена получению из лазерной плазмы потока ионов, энергию которых легко регулировать, изменяя скорость ионов с помощью электрического поля.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Для воздействия на мишень был использован импульсный YAG:Nd³⁺ лазер LS-2137 фирмы Lotis-TII с длиной волны $\lambda = 1064$ нм и длительностью импульса по полуширине $\tau = 20$ нс. Мишень устанавливались под углом 45° к оси лазерного пучка. Измерение проводилось в вакууме при давлении остаточных газов $\sim 10^{-3}$ Па. Мишень вращалась со скоростью 2 об/мин, чтобы предотвратить образование глубокого кратера на поверхности мишени, что может сказаться на пространственной форме эрозионного факела. Мишень была изготовлена из высокоориентированного пиролитического графита марки УПВ1.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

При воздействии лазерного излучения на графитовую мишень (схема эксперимента изображена на рис. 1) образуется эрозионный лазерный факел. При свободном разлете углеродной плазмы на подложке наблюдается следующий сигнал (рис. 2). Как видно из рисунка в процессе движения эрозионного факела от мишени к подложке в нем формируется двойной электрический слой. Впереди движутся более быстрые электроны, а за ними более медленные ионы. В самом конце процесса к подложке попадают медленные остаточные электроны факела (и вероятно нейтральные атомы). По форме рисунка можно определить скорость различных частиц, учитывая, что расстояние мишень-подложка составляет 12 см.

Самые быстрые электроны имеют скорость 40 км/с, если предположить, что распределение скорости электронов близко к Максвелловскому, то средняя скорость электронов на переднем фронте лазерного факела составляет 13 км/с, а самые медленные из них имеют скорость 10 км/с. Такая же скорость и самых быстрых ионов,

т.е. 10 км/с. Средняя скорость ионов составляет величину 7 км/с, а самые медленные ионы движутся со скоростью 4 км/с. Скорость самых медленных электронов в конце процесса в нашем эксперименте составляет 1,6 км/с.

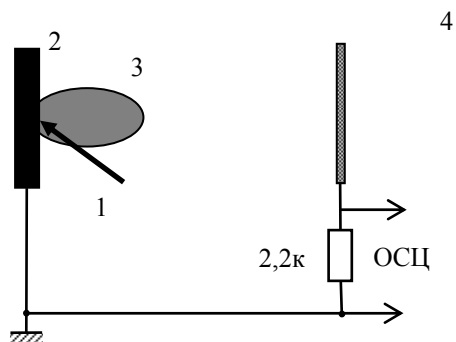


Рисунок 1. – Схема эксперимента: 1- лазерное излучение; 2 – графитовая мишень; 3 – эрозионный факел; 4 – подложка

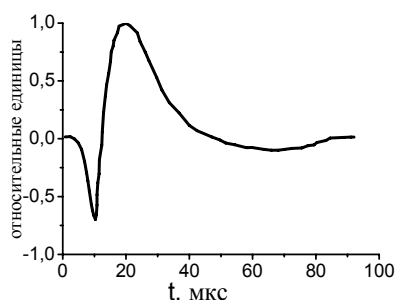


Рисунок 2. – Зависимость во времени тока электронной и ионной компоненты на подложке. Плотность мощности воздействующего лазерного излучения составляет $5,6 \cdot 10^8$ Вт/см²

Так как в нашем случае мы наблюдаем в начале процесса разлета лазерной плазмы и в его конце преимущественно электроны, которые могут мешать осаждению углеродной нанопленки на подложку (из-за дополнительного заряда, вторичной эмиссии и.т.д.), то желательно процесс разлета лазерной плазмы организовать так, чтобы поток электронов отсутствовал на подложке. Для этого достаточно приложить к подложке по отношению к мишени отрицательный потенциал. Однако при таких условиях потенциал на подложке одновременно воздействует и на электронный и ионный поток. При этом необходимо учитывать и взаимодействие этих потоков. Управление скоростью ионного потока в этом случае сильно усложняется. Целесообразно разделить управление электронным потоком и ионным. С этой целью на расстоянии 2,5 см от мишени (источнике лазерной плазмы) можно поставить сетку и на нее подавать отрицательный по отношению к мишени потенциал. В этом случае можно найти условия, при которых после сетки на подложку будут двигаться только ионы. Схема такого эксперимента представлена на рис. 3.

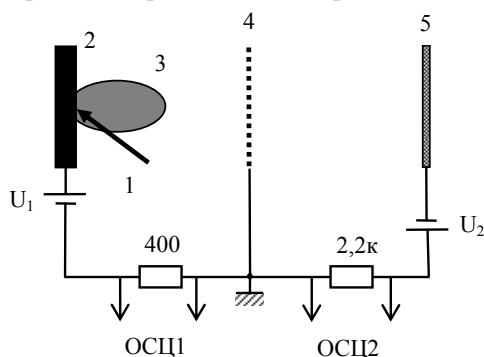


Рисунок 3. – Схема эксперимента: 1- лазерное излучение; 2 – графитовая мишень; 3 – эрозионный факел; 4 – сетка; 5 – подложка

Особенности этой схемы заключается в том, что два независимых источника питания подключены через нагрузочные сопротивления, таким образом, что на сетку по отношению к лазерной мишени подается отрицательный потенциал U_1 , а по отношению к подложке на сетку подается положительный потенциал U_2 . Сама сетка заземлена.

Без подачи потенциалов ($U_1 = U_2 = 0$) форма тока мишень-подложка аналогична изображению на рис.1. Отличие заключается в дополнительных потерях, определяемых прозрачностью сетки, которая в нашем случае составляет величину 80 %. Кроме, того отсутствует небольшой отрицательный потенциал в конце импульса из-за перезарядных токов на сетке.

При подаче отрицательного потенциала на сетку по отношению к мишени, характер тока через подложку изменяется. При увеличении отрицательного потенциала на сетке от 0 до 2,5 В поток электронов на подложку уменьшается, при 2,5 В и выше электронный поток прекращается. Это происходит без подачи на подложку потенциала U_2 . Результаты таких экспериментов представлены на рис.4.

Следующий эксперимент проводился при постоянном отрицательном потенциале на сетке по отношению к мишени $U_2 = 2,5$ В, когда после сетки по отношению к подложке летят преимущественно ионы. Положительный потенциал сетки по отношению к подложке изменялся до 400 В. Результаты экспериментов представлены на рис. 5.

Как видно из рисунка с увеличением положительного потенциала сетки по отношению к подложке происходит увеличение энергии ионов. Так же при этом уменьшается разброс ионов по скоростям.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Экспериментально показано, что при воздействии лазерного излучения плотностью мощности $5,6 \times 10^8$ Вт/см² на графитовую мишень в эрозионном плазменном факеле формируется двойной электрический

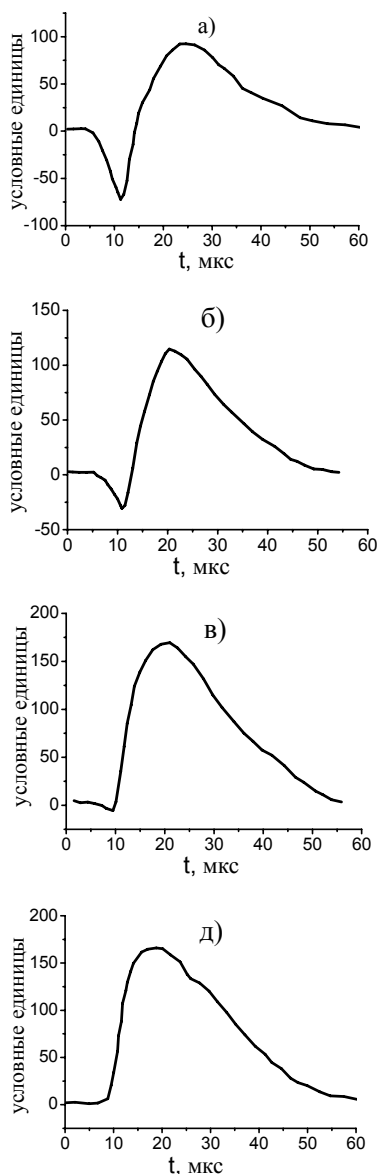


Рисунок 4. – Зависимость во времени тока электронной и ионной компоненты на подложке при различных потенциалах на управляющей сетке: а – 0,5 В; б – 0,7 В; в – 1 В, г – 2,5 В. Плотность мощности воздействующего лазерного излучения составляет $5,6 \cdot 10^8$ Вт/см²

слой. В начальный момент времени подложки достигают быстрые электроны, затем ионы.

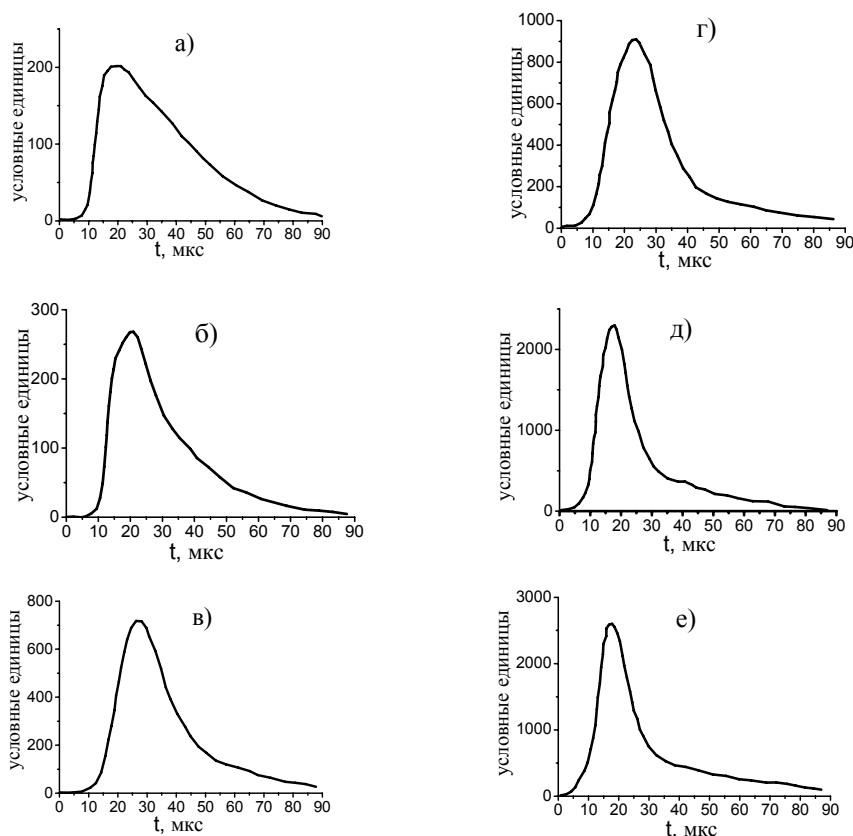


Рисунок 5. – Зависимость во времени тока ионной компоненты на подложке при различных потенциалах между сеткой и подложкой: а- 5 В; б- 10 В; в – 30 В; г – 50 В; д – 200 В; е – 400 В. На управляющей сетке потенциал – 2,5 В. Плотность мощности воздействующего лазерного излучения $5,6 \cdot 10^8$ Вт/см²

При введении дополнительного электрода (сетки) между мишенью и подложкой можно управлять потоком заряженных частиц в плазменном факеле. При подаче отрицательного потенциала на сетку по отношению к мишени можно получить на подложке поток частиц, в котором полностью будет отсутствовать электронная компонента. В нашем случае она составляет величину 2,5 В. При подаче положительного потенциала на сетку по отношению к подложке (от 5 до 400 В) можно управлять как скоростью ионного потока, так и их распределением по скоростям. Это позволит выбрать оптимальный режим осаждения алмазоподобных углеродных нанопленок на подложки из различных материалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ferrari, A.C. Interpretation of Raman spectra of disordered and amorphous carbon /A.C. Ferrari, J.Robertson // Physical review, 2000. – V.61. – No. 20. –P 14 095–14 105.
2. Гончаров, В.К. Пространственные и временные характеристики эрозионного лазерного факела на графитовой мишени в вакууме [Текст] / В.К.Гончаров, М.В.Пузырев, В.Ю.Ступакевич // Вестник БГУ, 2016. - Сер. 1., № 1 – С.79–83.