

РЕЖИМЫ ОБРАБОТКИ И НАНЕСЕНИЯ НАНОПОКРЫТИЙ В ЛАЗЕРНО-ПЛАЗМЕННОМ ИСТОЧНИКЕ.

В.К. Гончаров¹⁾, Д.Р. Исмаилов¹⁾, А.А. Пехота¹⁾, М.В. Пузырев¹⁾, В.Ю. Ступакевич²⁾

¹⁾Белорусский государственный университет, Институт прикладных физических проблем имени Севченко, ул. Курчатова 7, 220045 Минск, Беларусь, puzyrev.bsu.by

²⁾Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, ул. Ожешко 22, 230023 Гродно, Беларусь, tv_sad@grsu.by

Из лазерной плазмы получены ионные потоки. Регулируя плотность ионного потока изменением плотности мощности лазерного излучения и энергию ионов изменением электрического поля, можно получить при различных режимах взаимодействия ионного потока с подложкой травление, создание псевдодиффузионного слоя и напыления покрытий с различной скоростью.

Все эти процессы можно проводить последовательно без разгерметизации вакуумной камеры. Такие режимы позволят получить стерильные высокоадгезионные покрытия.

Ключевые слова: лазерная плазма; ионные потоки; напыление пленок.

THE REGIMES OF PROCESSING AND DEPOSITION NANOFILMS IN THE LASER-PLASMA SOURCE

V.K. Goncharov¹⁾, D.R. Ismailov¹⁾, A.A. Pehota¹⁾, M.V. Puzyrev¹⁾, V.U. Stupakevich²⁾

¹⁾Sevchenko Institute of Applied Physics Problems, Belarussian State University, 7 Kurchatov Str., 220045 Minsk, Belarus, puzyrev@bsu.by

²⁾Yanka Kupala State University of Grodno, 22 Ozheshko Str, 220023 Grodno, Belarus

Ionic fluxes have been produced from laser plasma. We can control ionic fluxes density using a different of the laser radiation intensity and ions energy using electric field. It allows to producing using at various regimes of the interaction of an ionic flux with a substrate: etching, creation of a pseudo-diffusive layer and deposition of films with various speed.

All these processes can be carried out consistently without depressurization of the vacuum chamber. Such regimes will allow producing sterile high-adhesive coverings.

Keywords: laser plasma; ionic fluxes; films deposition.

Введение

Лазерный метод нанесения нанопокровов обладает рядом преимуществ по сравнению с другими методами. Это, прежде всего стерильность метода и возможность получать плазму из любого вещества в любом агрегатном состоянии. Однако, как правило, это можно реализовать только в вакууме.

Экспериментальное оборудование

Для воздействия на мишень был использован YAG:Nd³⁺ лазер LS-2137 фирмы Lotis-TII с длиной волны $\lambda = 1064$ нм и длительностью импульса на полувысоте $\tau = 20$ нс. Мишень была изготовлена из технически чистого серебра и устанавливалась под углом 45° к оси лазерного луча. Эксперименты проводились 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. Контроль временных характеристик проводился с помощью осциллографа Tektronix TDS 2022B. Общая схема экспериментов представлена на рис. 1.

Результаты и их обсуждение

Исследования динамики эрозионного лазерного факела в вакууме показали, что в процессе разлета лазерной плазмы в вакууме формируется двой-

ной электрический слой. Впереди движутся более быстрые электроны, а за ними ионы [1].

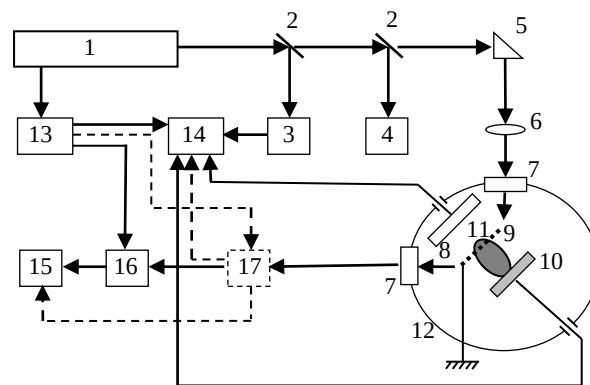


Рис. 1. Схема установки: 1 – лазер; 2 – светоделительные пластины; 3 – фотодиод; 4 – измеритель энергии; 5 – призма полного внутреннего отражения; 6 – линза; 7 – окна; 8 – подложка; 9 – сетка; 10 – мишень; 11 – плазменный факел; 12 – вакуумная камера; 13 – блок синхронизации; 14 – осциллограф; 15 – ЭВМ; 16 – фотокамера на основе ПЗС; 17 – спектрометр. В различных экспериментах работал блок 16 или блок 17

Fig. 1. Installation scheme: 1 - laser; 2 - beam splitting plates; 3 - photodiode; 4 - energy meter; 5 - prism of total internal reflection; 6 - lens; 7 - windows; 8 - substrate; 9 - grid; 10 - target; 11 - plasma plume; 12 - vacuum chamber; 13 - synchronization unit; 14 - oscilloscope; 15 - computers; 16 - CCD camera; 17 - spectrometer. In various experiments, the block 16 or block 17 have been used

Авторами было предложено поместить между лазерной мишенью и подложкой сетку, подавая на сетку по отношению к мишени отрицательный потенциал. В этом случае удалось получить поток заряженных частиц на подложку, состоящих преимущественно из ионов [2].

При таких условиях регулировка энергии ионов, поступающих на подложку, происходит достаточно простым изменением потенциала в пространстве сетка – подложка. В этом случае появляется возможность нанесения нанопокровов с различной скоростью нанесения в зависимости от скорости ионов и плотности ионного потока.

Были проделаны эксперименты для мишени из серебра и подложки из кремния КДБ 0.3 для различных потенциалов в промежутке сетка – подложка при различных плотностях мощности, воздействующего на мишень лазерного излучения. При этом потенциал в промежутке мишень – сетка подбирался таким, чтобы после сетки поток заряженных частиц состоял преимущественно из ионов.

Результаты таких экспериментов представлены на рисунке 2. При меньшей плотности мощности лазерного излучения кривая ионов тока в промежутке сетка – подложка представляет собой несимметричный колокол (рис. 2, а). При увеличении плотности мощности лазерного излучения увеличивается температура в эрозионной лазерной плазме и, как следствие, растет ионизация, а, значит, и ионный ток в промежутке сетка – подложка. При этом наблюдается заметная вторичная эмиссия ионов. За счет этого обратного тока ионов происходит ограничение вершины импульса ионного тока в цепи сетка – подложка (рис. 1, б).

При дальнейшем увеличении плотности мощности лазерного излучения происходит еще большее ограничение вершины импульса ионного тока (рис. 2, в). Острый пик на переднем фронте импульса тока можно объяснить обратным током электронов в цепи сетка – подложка.

На рисунке 3, а, б, в представлены кривые тока в промежутке сетка – подложка при плотности мощности воздействующего лазерного излучения $1.8 \cdot 10^9$ Вт/см², но при различных отрицательных потенциалах на подложке по отношению к сетке. Из рисунка видно, что с увеличением потенциала на подложке происходит изменение формы импульса ионного тока в цепи сетка – подложка с более длительного ограничения импульса тока при меньших потенциалах до менее длительного ограничения вплоть до полного исчезновения.

Результаты экспериментов, представленных на рисунке 3, можно объяснить следующим образом. При кинетических энергиях ионов, зависящих от плазмодинамических характеристик эрозионного лазерного факела и электрического потенциала в промежутке сетка – подложка, в режиме, изображенном на рисунке 2, а, ионы в основном осаждаются на поверхность подложки и только незначительная часть вызывает вторичную эмиссию. При увеличении плотности ионов (ионного тока) вторичная эмиссия сказывается значительно сильнее (рис. 2, б, в).

На рисунке 3 представлены результаты экспериментов при постоянной плотности мощности лазерного излучения, воздействующего на мишень,

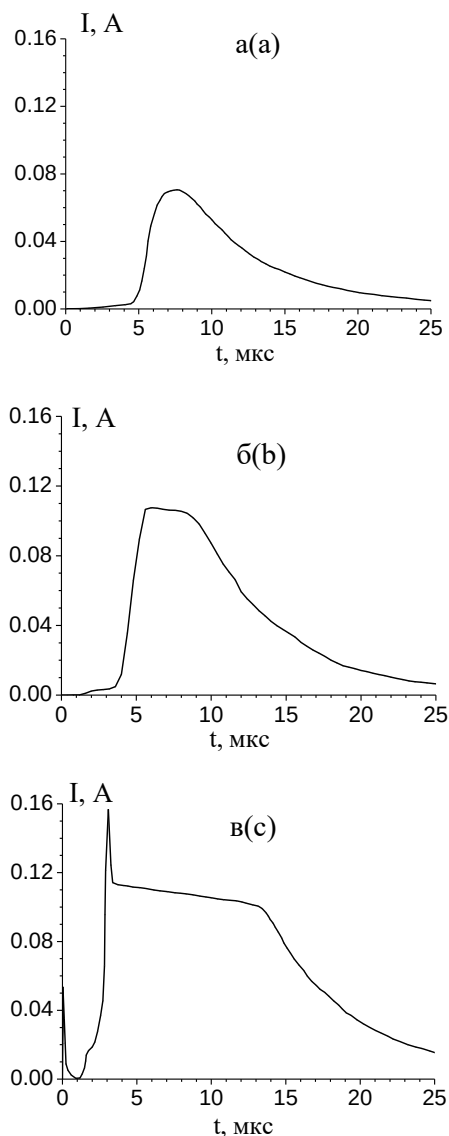


Рис. 2. Кривые тока в цепи сетка – подложка в зависимости от плотности мощности излучения: а – $8.9 \cdot 10^8$ Вт/см²; б – 10^9 Вт/см²; в – $1.8 \cdot 10^9$ Вт/см²

Fig. 2. Curves of current in the grid – substrate circuit depending on the intensity laser radiation: а – $8.9 \cdot 10^8$ W/cm²; б – 10^9 W/cm²; в – $1.8 \cdot 10^9$ W/cm²

но кинетическая энергия ионов регулируется потенциалом в пространстве сетка – подложка. Из рисунка видно, что при увеличении отрицательного потенциала на подложке по отношению к сетке ток ионов на подложку увеличивается за счет увеличения скорости ионов. И вместе с этим ограничение импульса тока уменьшается вплоть до полного исчезновения. Это можно объяснить тем, что ионы, приобретая более высокую кинетическую энергию из-за уменьшения сечения взаимодействия, в основном, проникают вглубь мишени (имплантируются), и вторичная эмиссия уменьшается.

Для технологических режимов нанесения нанопокровов лазерноплазменным методом важно знать, при каких условиях происходит травление поверхности подложки, создание псевдодиффузионного слоя и нанесение материала лазерной

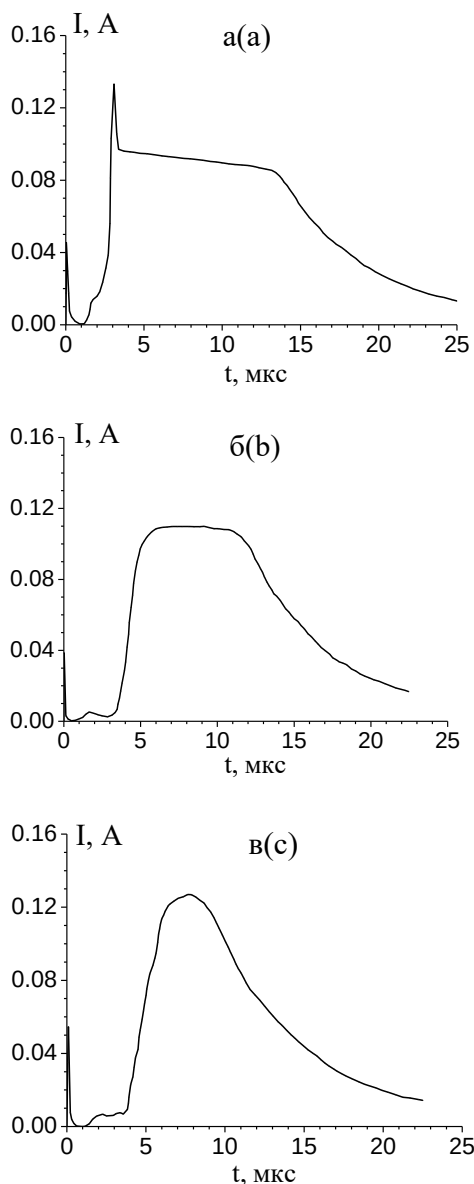


Рис. 3. Общий ток в цепи сетка-подложка при плотности мощности лазерного излучения $1.8 \cdot 10^9$ Вт/см² и при потенциале сетка-мишень 30 В, при потенциалах сетка-подложка: а – 30 В; б – 50 В; в – 100 В

Fig. 3. The total current in the grid-substrate circuit at a intensity laser radiation $1.8 \cdot 10^9$ W/cm² and at a target-grid potential 30 V at potentials, the grid-substrate: а - 30 V; б – 50 V; в – 100 V

мишени на поверхность подложки. Используя последовательно эти режимы, можно получить высокоадгезионные нанопокртия.

Заклучение

Таким образом, лазерноплазменный источник позволяет предварительно произвести травление поверхности подложки при умеренных потенциалах промежутка сетка – подложка, создать псевдодиффузионный слой, внедряя ионы мишени в приповерхностный слой подложки при высоких потенциалах промежутка сетка – подложка, и нанести пленку из материала лазерной мишени на поверхность подложки при минимальных потенциалах промежутка сетка – подложка.

Все это производится без разгерметизации вакуумной камеры, а за счет создания псевдодиффузионного слоя на поверхности подложки появляется возможность получения стерильных высокоадгезионных покрытий

Библиографические ссылки

1. Гончаров В.К., Пузырев М.В., Ступакевич В.Ю. Пространственные и временные характеристики эрозионного лазерного факела на графитовой мишени в вакууме. *Вестн. БГУ. Сер.1. Физика. Математика. Информатика*. 2016; (1): 79-83.
2. Гончаров В.К., Пузырев М.В., Ступакевич В.Ю. Управление потоками заряженных частиц в эрозионной лазерной плазме графитовой мишени в вакууме. *Инженерно-физический журнал* 2018; 91(4):1115-1121.

References

1. Goncharov V.K., Puzyrev M.V., Stupakevich V.Yu. Spatial and temporal characteristics of an erosion laser flames on a graphite target in vacuum. *Vestnik BGU. Ser.1. Fizika. Matematika. Informatika* 2016; (1): 79-83. (In Russian).
2. Goncharov V.K., Puzyrev M.V., Stupakevich V.Yu. Control of the flow of charged particles in an erosion laser plasma of a graphite target in vacuum. *Inzhenerno-fizicheskiy zhurnal* 2018; 91(4): 1115-1121. (In Russian).