

ВЛИЯНИЕ МАТЕРИАЛА ЛАЗЕРНОЙ МИШЕНИ И ПОДЛОЖКИ В ЛАЗЕРНОПЛАЗМЕННОМ ИСТОЧНИКЕ НА ФОРМИРОВАНИЕ ИОННЫХ ПОТОКОВ В РЕЖИМЕ ВТОРИЧНОЙ ЭМИССИИ

В.К. Гончаров¹⁾, А.А. Горбачевич²⁾, М.В. Пузырев¹⁾, В.Ю. Ступакевич³⁾, Н.И. Шульган²⁾
¹⁾Белорусский государственный университет, Институт прикладных физических проблем
им. А.Н. Севченко, ул. Курчатова 7, 220045 Минск, Беларусь,
v.k.goncharov.39@gmail.com, puzyrev@bsu.by
²⁾Белорусский государственный университет,
пр. Независимости 4, 220030 Минск, Беларусь, nikita.shulgan@gmail.com
³⁾Гродненский государственный университет им. Янки Купалы,
ул. Ожешко 22, 230023 Гродно, Беларусь, tv_sad@grsu.by

В работе изучено влияние материала мишени на физические процессы в лазерноплазменном источнике, который используется для нанесения наноструктур. Показано влияние материала подложки при взаимодействии ионного потока с ее поверхностью. Для плавной регулировки параметров наносимых частиц на подложку между лазерной мишенью и подложкой расположена сетка, на которую по отношению к лазерной мишени подается отрицательный потенциал. В результате после сетки формируется поток частиц, состоящий преимущественно из ионов, энергией которых можно надежно и плавно управлять, подавая на сетку по отношению к подложке положительный потенциал.

Ключевые слова: лазерная плазма; ионные пучки; ионная эмиссия.

INFLUENCE OF THE MATERIAL OF A LASER TARGET AND A SUBSTRATE IN A LASER PLASMA SOURCE ON THE FORMATION OF ION FLOWS IN THE SECONDARY EMISSION REGIME

V.K. Goncharov¹⁾, A.A. Gorbachevich²⁾, M.V. Puzyrev¹⁾, N.I. Shulhan²⁾, V.Yu. Stupakevich³⁾
¹⁾Sevchenko Institute of Applied Physics Problems, Belarussian State University,
7 Kurchatov Str., 220045 Minsk, Belarus, v.k.goncharov.39@gmail.com, puzyrev@bsu.by
²⁾Belarusian State University,
4 Nezavisimosti Ave., 220030 Minsk, Belarus, nikita.shulgan@gmail.com
³⁾Yanka Kupala State University of Grodno,
22 Ozheshko Str., 230023 Grodno, Belarus, tv_sad@grsu.by

In this work, we studied the influence of the target material on physical processes in a laser-plasma source. This source is used for deposition of nanostructures. The influence of the substrate material in the interaction of the ion flux with its surface is shown. A grid is located between the laser target and the substrate for smooth adjustment of the parameters of the particles deposited on the substrate. A negative potential is applied to the grid with respect to the laser target. As a result, after the grid, a flux of particles is formed, consisting mainly of ions. We smoothly and reliably can control the ions energy by applying a positive potential to the grid with respect to the substrate.

Keywords: laser plasma; ion beams; ion emission.

Введение

Метод лазерно-плазменного нанесения нанопокровов обладает рядом преимуществ по сравнению с другими. Это, прежде всего, возможность получения плазмы из любого вещества в любом агрегатном состоянии и стерильность.

Однако при этом есть у этого метода

недостатки. Это достаточно сложные устройства плавной регулировки параметров нанесения нанопленок при автоматизации режимов.

С целью устранения этого в [1] было предложено получать из лазерной плазмы поток ионов, и плавно регулировать энергию ионов и плотность ионного потока с

помощью плавного изменения потенциала электрического поля. Электрическая схема таких экспериментов представлена на рис. 1.

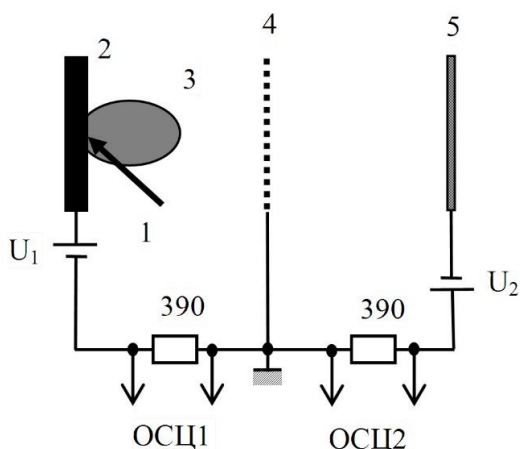


Рис. 1. Электрическая схема эксперимента: 1 – лазерное излучение; 2 – лазерная мишень; 3 – эрозионный плазменный факел; 4 – сетка; 5 – подложка; ОСЦ 1, ОСЦ 2 – сигналы, снимаемые на первый и второй канал осциллографа с сопротивлений нагрузки 390 Ом; U_1 и U_2 – независимые источники питания

Fig. 1. Electrical scheme of the experiment: 1 – laser radiation; 2 – laser target; 3 – erosive plasma plume; 4 – grid; 5 – substrate; OSC 1, OSC 2 – signals taken on the first and second channels of the oscilloscope with resistances of 390 Ohms; U_1 and U_2 – independent power sources

Экспериментальное оборудование

Воздействие на мишень производилось излучением лазера YAG:Nd³⁺ LS-2137 фирмы Lotis – ТП. Измерения производились с помощью осциллографа Tektronix TDS 2022B. Воздействие излучения лазера производилось при различных плотностях мощности. При этом на промежутке мишень – сетка и сетка – подложка подавались различные потенциалы U_1 и U_2 . Так как в этих экспериментах присутствуют два источника питания, то важно, в какой точке производить заземление. Предварительно были проведены эксперименты с заземлением лазерной мишени и подложки. Оказалось, что в этих случаях источники питания через внутреннее сопротивление участков мишень – сетка и сетка – подложка влияют друг на друга. И только схема (рис. 1) с заземленной сеткой поз-

воляет источникам питания U_1 и U_2 быть независимыми при любых режимах экспериментов.

Результаты и их обсуждение

Чтобы выяснить влияние материала подложки на форму импульса тока в промежутке сетка-подложка в наших экспериментах были взяты материалы подложек, наиболее часто используемые для исследования на электронном микроскопе и отличающиеся по проводимости и по атомному весу.

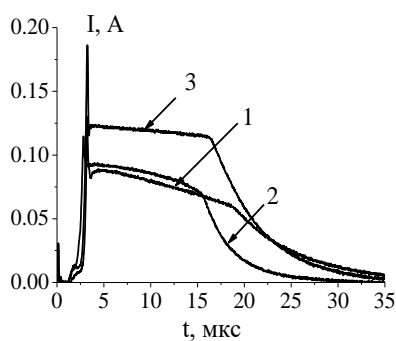
Для исследования режима травления подложки (вторичной ионной эмиссии) были поставлены эксперименты с потоками различных ионов (Al, Ag, Cu) на подложки из различных материалов (КДБ03, КЭФ20, X18Н10Т) с постоянными потенциалами в промежутках мишень-сетка (20 В) и сетка-подложка (50 В). Результаты экспериментов представлены на рис. 2. Как видно из этого рисунка, во всех случаях наблюдается короткий пичек на импульсе тока в промежутке сетка-подложка за счет обратного тока электронов, компенсирующих заряд имплантированных в приповерхностную область подложки ионов с помощью источника U_2 .

Кроме того, результаты этих экспериментов (рис. 2) показывают, что значения тока в промежутке сетка-подложка зависят как от материала лазерной мишени, так и от материала подложки.

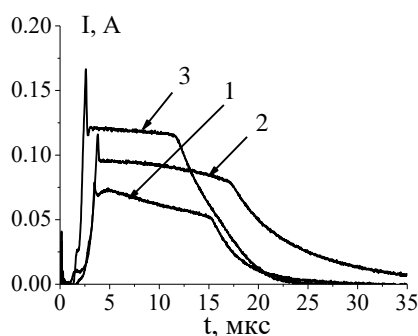
Из-за того, что у материалов мишени различный коэффициент поглощения на длине волны лазерного излучения (1.06 мкм) в промежутке мишень-сетка формируется плазма с различными параметрами (температура, давление, концентрация заряженных частиц, длительность существования).

Из используемых в экспериментах материалов минимальным коэффициентом поглощения обладает медь, у серебра коэффициент поглощения несколько выше, а максимальный коэффициент поглощения имеет алюминий. Этим и объясняется разница в величинах тока и длительности

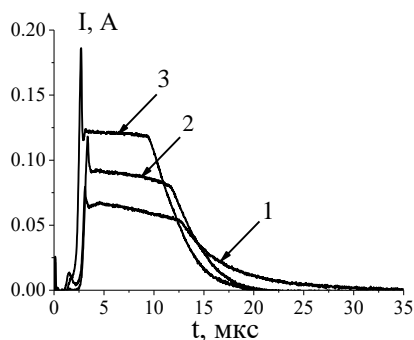
импульса в промежутке сетка-подложка.



a(a)



б(b)



в(c)

Рис. 2. Ток на подложке при воздействии лазерного излучения плотностью мощности $1,8 \cdot 10^9$ Вт/см² мишень-сетка 20 В, и сетка-подложка 50 В: а – Al, б – Ag, в – Cu, а также с различными материалами подложки: 1 – КДБ03, 2 – КЭФ-20, 3 – X18H10T
 Fig.1. Current on the at acting laser radiation with a power density of $1,8 \cdot 10^9$ W/cm² on various targets with constant potentials in the intervals target-grid 20 V and grid-substrate 50 V: а – Al, б – Ag, в – Cu, as well as with various substrate materials: 1 – KDB 03, 2 – KEF 20, 3 – 08N18N10T

Как видно из рис. 2а, количественное значение тока в промежутке сетка – подложка зависят от материала подложки. Наименьшая амплитуда импульса тока наблюдается у подложки из кремния КДБ 03. В этом случае первичные ионы алюминия более эффективно выбивают из поверхности подложки ионы бора, и вто-

ричный ток ионов максимально компенсирует ток первичных ионов. Поэтому амплитуда импульса в промежутке минимальна. Для подложки из кремния КЭФ20 из-за уменьшения соотношения атомных масс алюминия и фосфора по сравнению с соотношением атомов алюминия и бора происходит уменьшение тока вторичной эмиссии. Вследствие этого увеличивается разница между первичным и вторичным током ионов, а импульс общего тока в промежутке сетка-подложка увеличивается (рис. 2а, кривая 1 и 2).

При использовании подложки, изготовленной из нержавеющей стали X18H10T, этот эффект усиливается, так как атомный вес хрома, который является наиболее легким по атомному весу элементом сплава X18H10T больше, чем атомный вес алюминия. Вторичная эмиссия в этом случае еще меньше. Вследствие этого импульс общего тока в промежутке сетка-подложка существенно увеличивает свое значение (рис. 2а, кривая 3).

В случае применения серебряной мишени из-за большей массы первичных ионов серебра вторичная эмиссия с поверхности подложек увеличивается, уменьшая при этом величину общего тока в цепи сетка-подложка (рис. 2б).

Качественно картина повторяется и в экспериментах с медной мишенью. Однако значения токов в этом случае определяются не только соотношением атомных масс первичных и вторичных ионов, но и существенным влиянием коэффициента поглощения лазерного излучения материалом медной мишени.

Из всех рассматриваемых материалов лазерной мишени в настоящей работе медь на длине волны лазерного излучения (1.06 мкм) обладает минимальным коэффициентом поглощения. Поэтому эффективность взаимодействия лазерного излучения с медной мишенью существенно ниже, чем с алюминиевой и серебряной мишенями. Так как форма лазерного импульса представляет собой ассиметрич-

ный колокол, то в этом случае и время плазмообразования уменьшается, и понижаются параметры плазмы (температура, концентрация заряженных частиц). За счет этого количественные значения импульса тока в промежутке сетка-подложка ниже, чем при использовании серебряной мишени, а также уменьшается длительность импульса.

Заключение

Таким образом, для лазерно-плазменного источника напыления нанопокровов на основе экспериментального изучения явлений в промежутке сетка – подложка для различных материалов мишени и подложки объяснены процессы, происходящие при управлении электрическим полем лазерной плазмы в вакууме.

Показано, что при травлении ионными потоками поверхности подложки появление короткого пика тока перед началом вторичной ионной эмиссии практически не сказывается на переносе массы материала мишени и подложки, так как он формируется за счет обратного тока электронов, компенсирующего положительный заряд ионов, имплантированных в поверхность подложки.

мируется за счет обратного тока электронов, компенсирующего положительный заряд ионов, имплантированных в поверхность подложки.

Экспериментально показано, что на процессы травления влияют как характеристики материала лазерной мишени, так и материала подложки.

Библиографические ссылки

1. Гончаров В.К., Пузырев М.В., Ступакевич В.Ю. Физические процессы в лазерном источнике ионов алюминия с управляемой энергией для нанесения нанопленок. *Журнал Белорусского государственного университета, Физика*. 2017; (3): 79-87.

References

1. Goncharov, V.K., Puzyrev M.V., Stupakevich V.Yu. Fizicheskie protsessy v lazernom istochnike ionov alyuminiya s upravlyаемой энергией dlya naneseniya nanoplenok [Regimes of substrates processing and deposition nanofilms using the laser-plasma method]. *Zhurnal Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta, Fizika* 2017; (3): 79-87. (In Russian).