

РЕЖИМЫ ФОРМИРОВАНИЯ ПОТОКОВ ИОНОВ ИЗ ЛАЗЕРНО-ПЛАЗМЕННОГО ИСТОЧНИКА ДЛЯ ОСАЖДЕНИЯ НАНОПЛОК АЛЮМИНИЯ

В.К. Гончаров¹⁾, 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

Рассмотрены физические процессы в лазерном источнике ионов алюминия для нанесения нанопленок. Обоснована электрическая схема источника ионов с двумя источниками питания. Источники питания независимы друг от друга.

Ионный источник представляет собой мишень и воздействующее на нее лазерное излучение, подложку и сетку, расположенную между ними. Заряженные частицы (электроны и ионы) из эрозионного лазерного факела движутся на подложку. На подложке осаждается нанопленка за счет потока ионов алюминия.

Методом контроля электронного и ионного токов экспериментально найдены условия, при которых после сетки на подложку движутся заряженные частицы, преимущественно в виде ионов.

Проведены исследования временных характеристик ионных потоков в промежутке сетка-подложка при различных постоянных положительных потенциалах сетки по отношению к подложке и различных плотностях мощности воздействующего лазерного излучения. В наших экспериментах расстояние мишень-сетка составляло 6 см, расстояние сетка-подложка 6 см, прозрачность сетки 86%. В качестве материала лазерной мишени использовался алюминий А7. Плотность мощности лазерного излучения изменялась в интервале $(2.54 - 5.41) \cdot 10^8$ Вт/см².

Показано, что технологическими режимами осаждения нанопленок можно управлять положительным потенциалом на сетке по отношению к подложке, изменяя величину ионного потока на подложку и его длительность. Кроме того, режимами осаждения нанопленок можно управлять изменением плотности мощности воздействующего лазерного излучения и сопротивлением утечки зарядов с подложки.

Введение

Одним из методов нанесения нанопленок на различные материалы (подложки) является лазерно-плазменный. Он имеет несколько преимуществ перед другими методами. Это возможность получать плазму практически из любого вещества, стерильность, то есть при нанесении пленок в вакууме лазерное излучение не вносит дополнительных примесей в осаждаемое покрытие. Кроме того, лазерно-плазменный метод позволяет относительно легко автоматизировать процесс нанесения пленок.

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 устанавливалась под углом 45° к оси лазерного луча. Эксперименты проводились в вакууме при давлении остаточных газов $1 \cdot 10^{-3}$ 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 технического чистого алюминия марки А7. Контроль временных характеристик проводился с помощью осциллографа Tektronix TDS 2022B.

Результаты и их обсуждение

В [1] показано, что в эрозионном лазерном факеле при воздействии лазерного излучения на графитовую мишень в вакууме формируется двойной электрический слой. Были поставлены эксперименты по зондовым измерениям двойного электрического слоя в эрозионном факеле на различных расстояниях от мишени. Результаты экспериментов изображены на рис. 1.

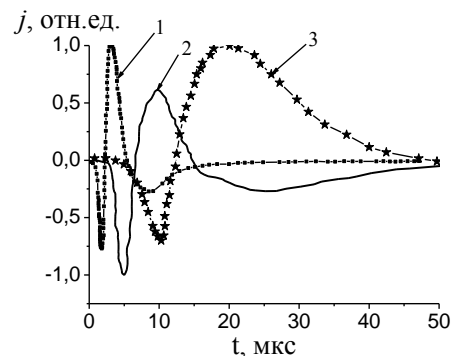


Рис. 1. Кривые изменения тока на зонде на различных расстояниях от поверхности мишени: 1 – 2.5 см; 2 – 6 см; 3 – 12 см

Из рисунка видно, что при расположении зонда на расстоянии 2.5 см от поверхности мишени уже через 1 мкс на зонде появляются электроны, достигая максимума через 2 мкс. После этого электронный ток уменьшается до нуля, и зонд регистрирует ионный ток, который достигает максимума через 3.5 мкс, а через 5 мкс ионный ток исчезает. Начало отсчета совпадает с началом воздействия лазерного импульса. При расположении зонда на расстоянии 6 см и 12 см от поверхности мишени качественно картина не меняется. Однако все процессы регистрируются с некоторой задержкой, определяемой скоростью потока заряженных частиц.

Из экспериментов видно, что скорость ионов для нанесения высокоадгезионных покрытий можно регулировать электрическим потенциалом, поданным на подложку отрицательным по отношению к мишени. Однако в этом случае сложное взаимодействие между этим потенциалом и потенциалами электронного и ионного слоя приводит к сложным колебаниям, и управление ионны-

ми потоками становится непросто. Для устранения этого была предложена электрическая схема с двумя независимыми источниками питания, позволяющая сепарировать ионы и управлять ионными потоками (см. рис. 2).

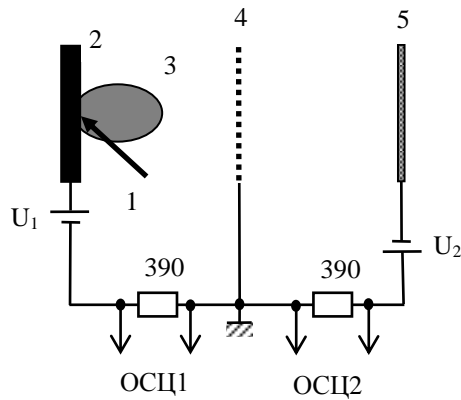


Рис. 2. Схема эксперимента: 1 – лазерное излучение; 2 – алюминиевая мишень; 3 – эрозионный факел; 4 – сетка; 5 – подложка

Экспериментально было показано, что при воздействии импульса неодимового лазера длительностью 20 нс по полувысоте на алюминиевую мишень при плотности мощности $2.86 \cdot 10^8$ Вт/см² при расстояниях мишень–подложка 12 см, мишень–сетка 6 см достаточно на сетку подавать отрицательный потенциал по отношению к мишени 10 В, чтобы после сетки на подложку формировался поток заряженных частиц преимущественно в виде ионов.

Подавая на сетку положительный различный потенциал по отношению к подложке можно изменять энергию ионов, тем самым регулировать режимы нанесения пленок на различные подложки.

Были проведены эксперименты по воздействию лазерного импульса на мишень из алюминия марки А7. При этом изменялась плотность мощности лазерного излучения и величина положительного потенциала, подаваемого на сетку по отношению к подложке. Результаты экспериментов представлены на рис. 3. Из этого рисунка видно, что при малых плотностях мощности воздействующего лазерного излучения ионные потоки на подложку зависят от приложенного потенциала к промежутку сетка – подложка. При этом временная форма импульсов близка к временной форме лазерной плазмы. При увеличении плотности мощности лазерного излучения заметно значительное увеличение ионного потока на подложку.

В наших условиях при воздействии лазерного излучения плотностью мощности $3.34 \cdot 10^8$ Вт/см² при потенциале между сеткой и подложкой 50 В наблюдается резкое изменение временной формы ионного тока. После достижения максимума ионный ток на подложку не спадает по экспоненциальному закону, а некоторое время стабилизируется во времени. Это может быть связано с тем, что поток ионов вследствие большей ионизации увеличивается, и заряд этого потока начи-

нает компенсировать положительный постоянный заряд, подаваемый на промежуток сетка–подложка. Наступает момент, когда число подлетающих к подложке ионов сравнивается с числом ионов, нейтрализованных через сопротивление утечки.

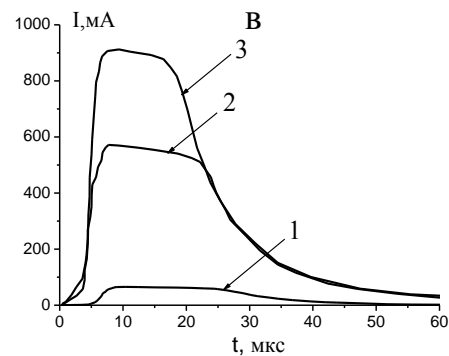
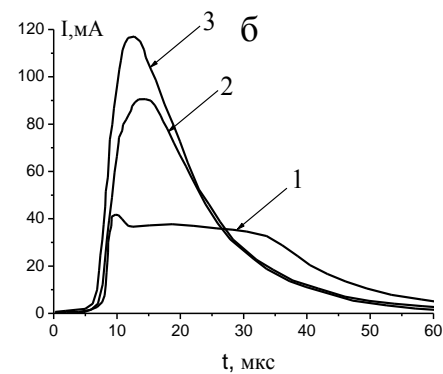
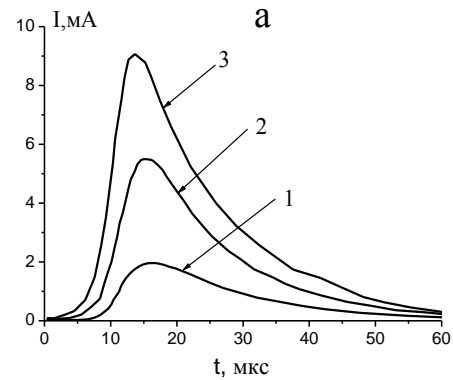


Рис. 3. Зависимость тока на подложке от времени при различных плотностях мощности воздействующего лазерного излучения и различных ускоряющих потенциалах между сеткой и подложкой (отрицательный потенциал на подложке): а – $2.54 \cdot 10^8$ Вт/см²; б – $3.34 \cdot 10^8$ Вт/см²; в – $5.41 \cdot 10^8$ Вт/см², 1 – 50 В, 2 – 200 В, 3 – 400 В. Сопротивление утечки в цепи подложка–сетка 390 Ом

При увеличении постоянного потенциала на промежутке сетка – подложка эффект стабилизации ионного тока пропадает, так как в этом случае потенциал подложки при таких потоках ионов трудно скомпенсировать.

При увеличении плотности мощности лазерного излучения ионные потоки обладают такой величиной, что стабилизация ионного тока наблюдается даже при положительном потенци-

але на промежутке сетка – подложка 400 В. Это объясняется большим потоком ионов на подложку.

Скорость нейтрализации заряда с подложки определяется сопротивлением нагрузки, внутренним сопротивлением источника питания, емкостью подложки и паразитной индуктивностью конструктивных и проводящих элементов. Для проверки этого был проведен эксперимент по снижению сопротивления нагрузки, через которую происходит нейтрализация ионного заряда подложки с 390 Ом до 30 Ом. Результат такого эксперимента приведен на рис. 4.

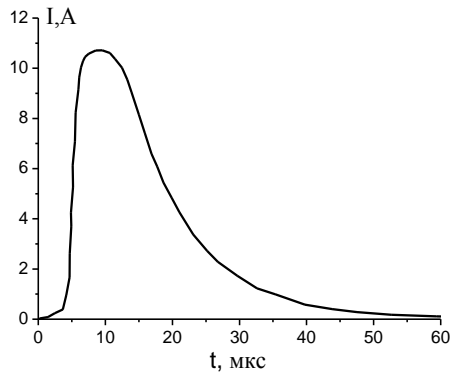


Рис. 4. Зависимость тока от времени при плотности мощности воздействующего лазерного излучения $5,41 \times 10^8$ Вт/см². Ускоряющий потенциал между сеткой и подложкой (положительный потенциал на сетке) – 400 В. Сопротивление нагрузки в цепи подложка-сетка 30 Ом

При потенциале на подложке –400 В по отношению к сетке и плотности мощности воздействующего на алюминиевую мишень $5,41 \cdot 10^8$ Вт/см². Как видно из рисунка, при уменьшении сопротивления разрядного контура гра-

ничение ионного тока отсутствуют, а токи подложки при этом значительно увеличиваются.

Заключение

Проведенные эксперименты показали, что из эрозионной лазерной плазмы, подавая отрицательный потенциал на сетку по отношению к мишени, можно после сетки получать поток заряженных частиц, состоящий преимущественно из ионов.

Найдена схема питания двумя источниками промежутков мишень-сетка и сетка-подложка с общей заземленной сеткой. При этом оба источника питания являются независимыми.

Таким образом, технологические режимы нанесения пленок можно регулировать отрицательным потенциалом на сетке по отношению к мишени, получая при этом потоки ионов; изменяя величину положительного потенциала на сетке по отношению к подложке, можно регулировать величину ионного потока на подложку. Кроме того, режимы нанесения различных пленок можно регулировать изменением плотности мощности воздействующего лазерного излучения и сопротивлением утечки зарядов с подложки.

Использование источника ионов с регулируемой энергией дает возможность комплексной обработки подложки. При больших скоростях ионов происходит травление поверхности подложки, при умеренных скоростях – создание псевдодиффузионного слоя и при уменьшении скорости ионов можно получать пленки различной толщины с высокой адгезией.

Список литературы

1. Аваделькарим О.О., Бай Ч., Капица С.П. Нанонаука и нанотехнологии. Энциклопедия систем жизнеобеспечения. М.: ИД МАГИСТР-ПРЕСС, 2011. 999с.

THE FORMATION REGIMES OF IONS FLOW FROM THE LASER PLASMA SOURCE FOR ALUMINIUM NANOFILMS DEPOSITION.

V.K. Goncharov¹⁾, 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

Physical processes in aluminum ions laser source for deposition nanofilms have been considered. The electric scheme of an ions source with two power supply is proved. Power supplies are independent from each other.

The ionic source represents a target and the acting laser radiation, the substrate and a grid located between them. From erosive a laser plume charged particles (electrons and ions) move on a substrate. Aluminum nanofilm is deposited on substrate due to an aluminum ions flow.

It has experimentally found conditions under which after a grid on a substrate moves the charged particles flow, mainly in the form of ions by the control method of electronic and ionic currents.

Temporary characteristics of ionic flow in a space a grid-substrate have been determined at various constant positive potentials of a grid in relation to a substrate and various of a power density of the acting laser radiation. In our experiments distance the target-grid was 6 cm, distance a grid-substrate 6 cm, grid transparency 86%. The laser target was aluminum (Al 1070). Laser radiation power density was changed in the interval $(2.54 - 5.41) \cdot 10^8$ W/cm².

It is shown that the technological regimes of nanofilms deposition can be controlled by a positive potential on a grid in relation to a substrate, changing a value ionic flow to a substrate and its duration. Besides, the deposition nanofilms can be controlled by a change of power density of the acting laser radiation and resistance of charges leakage from a substrate.