

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМА ИОННОГО ПОТОКА НА ПОДЛОЖКЕ ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ НАНОПЛЕНОК С ПОМОЩЬЮ ЛАЗЕРНО-ПЛАЗМЕННОГО ИСТОЧНИКА ПРИ ПОНИЖЕННЫХ УСКОРЯЮЩИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЯХ

В. К. Гончаров, М. В. Пузырев

*Научно-исследовательское учреждение «Институт прикладных физических проблем
им. А.Н.Севченко» Белорусского государственного университета, ул. Курчатова 7,
220108 Минск, Республика Беларусь, e-mail: puzyrev@bsu.by*

Эксперименты показали, что происходит искажение временной формы импульса ионного тока при малых (вплоть до нуля) ускоряющих потенциалах электрического поля в промежутке сетка- подложка в лазерно-плазменном источнике для нанесения нанопокровов. Найден механизм искажения временной формы импульса ионного тока и предложен способ его устранения. КПД процесса нанесения нанопленок повышается при устранении искажения формы первоначального импульса ионного тока. Это позволяет с помощью лазерно-плазменного источника ионов получать на поверхности подложки тонкие равномерные нанопленки.

Ключевые слова: лазерная плазма; ионные потоки; наноструктуры.

OPTIMIZATION OF THE REGIME OF A ION FLOW TO THE SUBSTRATE AT LOW ACCELERATING POTENTIALS IN A LASER-PLASMA SOURCE FOR THE FORMATION OF NANOFILMS

V. K. Goncharov, M. V. Puzyrev

*A. N. Sevchenko Institute of Applied Physics Problems, Belarusian State University,
7 Kurchatov St., 220045, Minsk, Belarus,
Corresponding author: M. V. Puzyrev (puzyrev@bsu.by)*

Experiments have shown that the time shape of the ion current pulse is distorted at low (up to zero) accelerating potentials of the electric field in the grid-substrate interval in the laser-plasma source for depositing nanocoatings. The mechanism of distortion of the time shape of the ion current pulse is found and a method for its elimination is proposed. The efficiency of the nanofilms deposition process increases when the distortion of the shape of the initial ion current pulse is eliminated. This makes it possible to obtain thin uniform nanofilms on the substrate surface using a laser-plasma ion source.

Key words: laser plasma; ion beams; nanostructures.

ВВЕДЕНИЕ

В [1] было предложено для формирования наноструктур использовать лазерно-плазменный источник ионов. Этот источник при различных величинах управляющих электрических полей в большом динамическом диапазоне позволяет без разгерметизации вакуумной камеры последовательно производить очистку поверхности подложки, создание в ней псевдодиффузного слоя материала лазерной мишени и его нанесения на подготовленную поверхность. Процесс напыления нанопокровов как

правило происходит при пониженных управляющих потенциалах электрических полей. В [2] было замечено, что при малых электрических полях, ускоряющих ионы, на подложке происходит ограничение длительности импульса первоначального ионного тока, что существенно снижает КПД процесса формирования наноструктур на поверхности подложки. Для выяснения этого вопроса и для оптимизации процесса формирования наноструктур при малых значениях управляющих электрических полей был поставлен эксперимент.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

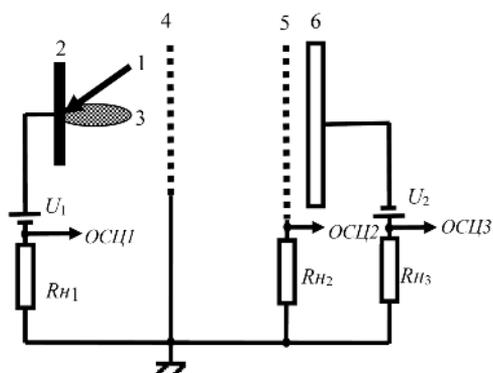


Рис. 1. Электрическая схема эксперимента:
 1 – лазерное излучение; 2 – лазерная мишень;
 3 – эрозионный плазменный факел; 4 – сетка;
 5 – зонд; 6 – подложка;
 ОСЦ1, ОСЦ2, ОСЦ3 – сигналы, снимаемые
 на каналы осциллографа;
 U_1 и U_2 – независимые источники питания

Воздействие на мишень из алюминия марки А7 производилось излучением лазера YAG: Nd³⁺ LS-2137 фирмы Lotis – ТП. Измерения производились с помощью осциллографа Tektronix TDS 2022В.

Электрическая схема эксперимента изображена на рис. 1.

В обычную схему лазерно-плазменного источника для формирования наноструктур с использованием ионных потоков [1] внесен дополнительный зонд, расположенный перед подложкой на расстоянии 1 см. Зонд представляет собой сетку площадью равной площади подложки.

В эксперименте расстояние между лазерной мишенью и подложкой составляло 12 см, управляющая сетка располагалась посередине. Плотность мощности воздействующего лазерного излучения на мишень составляла $q = 4,5 \cdot 10^8$ Вт/см². Для

формирования потока ионов после управляющей сетки на нее подавался отрицательный потенциал по отношению к мишени 30 В. В качестве подложки использовалась пластина из меди. В [2] сопротивления нагрузки во всех цепях были 390 Ом. В настоящей работе сопротивление нагрузки в цепи управляющей сетки составляло 390 Ом. В цепи зонда и подложки – 50 Ом.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Ионный ток в лазерно-плазменном источнике для нанесения нанопокровов, электрическая схема которого представлена на рис. 1, в промежутке сетка-подложка определяется скоростью ионов и плотностью ионного потока. Вблизи поверхности подложки в зависимости от условий эксперимента происходит не только столкновение ионов с подложкой, но и их нанесение на ее поверхность. За счет этого происходит накопление заряда на поверхности и замедление последующих ионов, и может даже происходить их отражение от заряда на поверхности подложки.

Результаты экспериментов при отсутствии ускоряющего электрического поля в промежутке сетка-подложка изображены на рис. 2. Как видно из рис. 2, а первоначально ток на нагрузке подложки и зонда растет и через 5–7 мкс достигает максимума. После этого ток начинает уменьшаться вплоть до нуля, а после этого формируется отрицательный импульс тока.

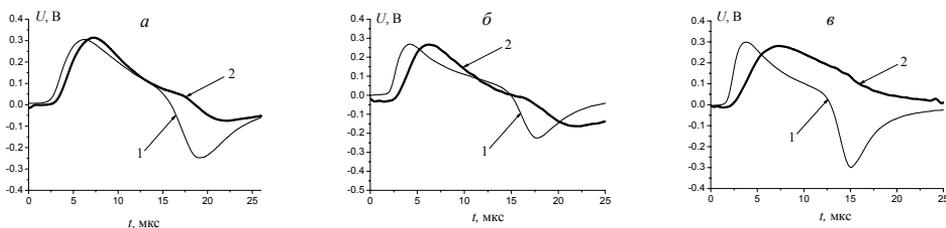


Рис. 2. Потенциалы на зонде (1) и подложке (2) в зависимости от времени при различных емкостях дополнительного конденсатора между сеткой и подложкой ($C_{\text{доп}}$) на подложке: а – без емкости; б – 0,05 мкФ; в – 0,1 мкФ

С точки зрения основ импульсной техники [3] это можно объяснить прохождением импульса тока через дифференцирующую цепочку RC. Где в нашем случае R – сопротивление нагрузки, а C – это конструкционная (паразитная емкость) лазерно-плазменного источника ионов (его конструкция и взаимное расположение мишени, сетки, подложки по отношению к друг другу и по отношению к системе вакуумной камеры). В этом случае потенциал на нагрузке U_n определяется соотношением:

$$U_n = U_0 - U_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right),$$

где U_0 – максимальный потенциал между сеткой и подложкой, определяемый кинетической и потенциальной энергией ионов, t – текущее время, $\tau = R_n C_n$; C_n – паразитная емкость конструкции. Исходя из этого соотношения видно, что если увеличить паразитную емкость, то можно устранить дифференцирующий эффект. С этой целью между сеткой и подложкой подсоединяется дополнительный конденсатор ($C_{\text{доп}}$) различной емкости. На рис. 2, б представлены результаты эксперимента когда $C_{\text{доп}} = 0,05$ мкФ. Как видно из этого рисунка дифференцирующий эффект уменьшается, но еще заметен. При $C_{\text{доп}} = 0,1$ мкФ (см. рис. 2, в) дифференцирующий эффект исчезает и на нагрузке подложки регистрируется ток исходной формы (в виде асимметричного колокола). Как видно из рис. 2, в с помощью дополнительного конденсатора в промежутке сетка-подложка можно восстановить на поверхности подложки первоначальную форму ионного тока. При этом увеличиться КПД процесса формирования нанопокровтий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе проведенных экспериментов найдена причина искажения формы импульса ионного потока, поступающего на подложку в лазерно-плазменном источнике для нанесения нанопокровтий при малых ускоряющих потенциалах.

Показано, что при подсоединении к промежутку сетка-подложка дополнительного конденсатора можно устранить искажение формы импульса ионного потока, по-

ступающего на подложку. При этом появляется возможность более равномерно во времени поступать на подложку потока ионов, увеличивая КПД процесса. Более равномерный поток ионов позволит наносить на подложки тонкие равномерные пленки, используя лазерно-плазменный источник.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Устройство управления параметрами эрозионного лазерного факела в вакууме для осаждения наноструктурированных покрытий на различные материалы : пат. 12575 Респ. Беларусь МПК С 23С 14/00 (2006.01), С 23С 28/00 (2006.01) / Гончаров В. К., Пузырев М. В., Ступакевич В. Ю., заявитель Научно-исследовательское учреждение «Институт прикладных физических проблем им. А.Н. Севченко» Белорусского государственного университета заявл. 16.01.2020; опубл. 30.04.2021 // Афіцыйны бюлетэнь. Вынаходствы. Карысныя мадэлі. Прамысловыя ўзоры. Тапалогіі інтэгральных мікрасхем / Нацыянальны цэнтр інтэлектуальнай уласнасці. – 2021. – № 2. – С. 72.
2. 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. – С.79–87.
3. Иццоки Я.С. Импульсные устройства. – М.: Советское радио, 1959. – 727 с.

ФОРМИРОВАНИЕ СПЛАВОВ КРЕМНИЙ-ГЕРМАНИЙ НА ОСНОВЕ МАССИВОВ КРЕМНИЕВЫХ НАНОНИТЕЙ

Н. Л. Гревцов

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
ул. П. Бровки 6, 220013 Минск, Беларусь,
e-mail: hrautsou@gmail.com*

Разработана методика формирования пленок сплавов кремний-германий на основе массивов кремниевых нитей, получаемых металл-стимулированным химическим травлением, путем заполнения пространства между нитями кристаллическим германием с последующей термообработкой, обеспечивающей сплавление материалов. Полученные пленки сплавов охарактеризованы с точки зрения структуры, а также оптических и электрофизических свойств. Показано, что пленки сплавов кремний-германий, формируемые предлагаемым методом, демонстрируют термоэлектрические характеристики, соответствующие лучшим представителям материалов такого типа.

Ключевые слова: кремниевые нанонити; кремний-германий; электрохимическое осаждение.