

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ОЧИСТКА ПОВЕРХНОСТИ МАТЕРИАЛА МИШЕНИ С ПОМОЩЬЮ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ЛАЗЕРНО-ПЛАЗМЕННОМ ИСТОЧНИКЕ ИОНОВ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ НАНОСТРУКТУР

В.К. Гончаров, М.В. Пузырёв

*Институт прикладных физических проблем им. А.Н. Севченко  
Белорусского государственного университета,  
ул. Курчатова 7, Минск 220045, Беларусь,  
v.k.goncharov.39@gmail.com, puzyrev@bsu.by*

Эксперименты показали, что интенсивность плазменного потока в лазерно-плазменном источнике для формирования наноструктур после воздействия на мишень нескольких лазерных импульсов резко падает. Это можно объяснить тем, что поверхность шероховатой металлической мишени покрыта рыхлым слоем, состоящим из олова и его окисла. Такой слой обладает коэффициентом поглощения, соизмеримым с поглощением поверхностным слоем олова. Первые несколько лазерных импульсов удаляют этот поверхностный слой. Этот эффект можно использовать для дополнительной очистки материала лазерной мишени.

**Ключевые слова:** лазерная плазма; ионные потоки; наноструктуры.

## ADDITIONAL CLEANING OF THE TARGET MATERIAL SURFACE USING LASER RADIATION IN A LASER-PLASMA ION SOURCE FOR THE FORMATION OF NANOSTRUCTURES

V.K. Goncharov, M.V. Puzyrev

*A.N. Sevchenko Institute of Applied Physical Problems, Belarusian State University,  
7 Kurčatava Str., 220045 Minsk, Belarus,  
v.k.goncharov.39@gmail.com, puzyrev@bsu.by*

Experiments have shown that the intensity of the plasma flow in a laser-plasma source for the formation of nanostructures after several laser pulses have been applied to the target decreases sharply. This can be explained by the fact that the surface of the rough metal target is covered with a loose layer consisting of tin and its oxide. Such a layer has a higher absorption coefficient commensurate with the absorption by the surface layer tin. The first few laser pulses remove this surface layer. This effect can be used for additional cleaning of the laser target material.

**Keywords:** laser plasma; ion flows; nanostructures.

### Введение

В [1] была предложена схема лазерно-плазменного источника для нанесения нанопокровов с помощью потоков ионов из лазерной плазмы. В этом источнике между лазерной мишенью и подложкой расположена сетка. При подаче на сетку отрицательного потенциала электрического поля по отношению к мишени после сетки формируется поток заряженных частиц, состоящих преимущественно из ионов. При подаче на сетку по отношению к подложке положительного потенциала можно плавно изменять электрическое поле в промежутке сетка-подложка,

при этом плавно изменять кинетическую энергию ионов в большом динамическом диапазоне. Чтобы источники потенциалов в промежутках мишень-сетка и сетка-подложка были независимы, сетка была заземлена.

### Результаты и их обсуждение

В эксперименте использовался импульсный YAG:Nd<sup>3+</sup> лазер LS-2137 фирмы Lotis-TII с длиной волны  $\lambda = 1064$  нм, длительностью импульса по полувывсоте  $\tau \sim 20$  нс и частотой следования лазерных импульсов 5 Гц. Мишень была изготовлена из технически чистого олова. Экспери-

менты проводились в вакууме при давлении остаточных газов  $\sim 10^{-4}$  Па. Мишень вращалась со скоростью 2 об/мин, чтобы предотвратить образование глубокого кратера на поверхности мишени, что может сказаться на пространственной форме эрозионного факела. Подложка располагалась параллельно поверхности мишени и была изготовлена из кремния КДБ 7.5. Расстояние между подложкой и мишенью составляло 12 см. Сетка расположена на расстоянии 6 см от поверхности мишени. Прозрачность сетки составляла 90 %. Контроль изменения токов во времени производился с помощью осциллографа Tektronix TDS 2022B. Плотность мощности лазерного излучения, воздействующего на мишень, составляла  $3.8 \cdot 10^8$  Вт/см<sup>2</sup>.

Эксперименты проводились при потенциале мишень-сетка 30 В, а в промежутке сетка-подложка 100 В. На рис. 1 представлены типичные кривые тока в промежутке мишень-сетка (кривая 1) и в промежутке сетка-подложка (кривая 2). Импульс ионного тока в промежутке сетка-подложка представляет собой ассиметричный колокол (как и свечение плазмы вблизи поверхности мишени).

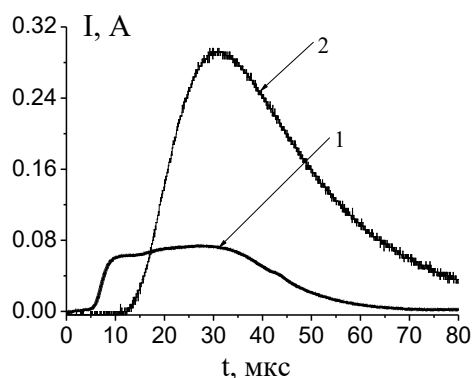


Рис. 1. Изменение во времени тока в промежутке мишень-сетка (1), сетка-подложка (2)

Импульс тока в промежутке мишень-сетка более сложен и представляет собой сумму обратного тока электронов на мишень и прямого тока ионов на сетку. Обратный ток электронов на осциллографе отображается как положительный импульс. В экспериментах было замечено,

что с течением времени облучения лазерной мишени в процессе нанесения нанопокровтия интенсивность свечения эрозионного лазерного факела уменьшается. Был поставлен эксперимент по контролю токов в промежутке мишень-сетка и сетка-подложка.

На рис. 2 представлены зависимости максимального значения токов в промежутке мишень-сетка (1) и максимального значения ионного тока в промежутке сетка-подложка (2) в зависимости от времени облучения мишени лазерным излучением. Как видно из этого рисунка, за незначительное время облучения ( $\sim 2$  мин) токи в промежутках резко падают, а затем с течением времени облучения изменяются незначительно.

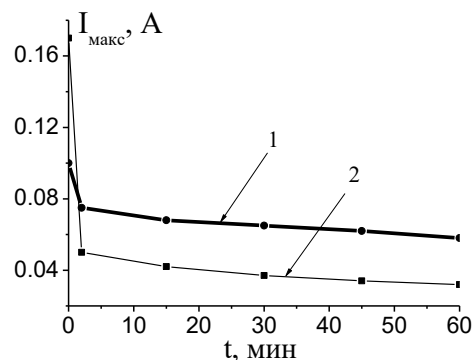


Рис. 2. Изменение тока в промежутке мишень-сетка (1) и сетка подложка (2) в зависимости от времени облучения мишени

Такие зависимости токов от времени можно объяснить следующим образом. В процессе подготовки лазерной мишени из олова происходит окисление ее поверхности. Коэффициент пропускания пленки SnO<sub>2</sub> на длине волны излучения 1.06 мкм составляет  $\sim 90\%$  [2]. Коэффициент отражения металлического олова в красной области спектра  $\sim 80\%$ . Следовательно, коэффициент поглощения составляет  $\sim 20\%$ . Обычно у металлов полное поглощение излучения происходит в слое толщиной  $10^{-7}$  м, толщина пленки SnO<sub>2</sub> составляет  $\sim 0.3 \cdot 10^{-7}$  м [2]. Учитывая поглощение при обратном направлении отраженного от поверхности оловянной мишени лазерного излучения, эффективная толщина пленки SiO<sub>2</sub> для лазерного излу-

чения составляет  $\sim 0.6 \cdot 10^{-7}$  м. Кроме того требуется дополнительная энергия лазерного излучения для перехода в полупроводниковом материале  $\text{SiO}_2$  электронов из валентной зоны в зону проводимости и после этого в материал. После этого полупроводник  $\text{SnO}_2$  ведет себя как металл. Таким образом, энергия, поглощенная в слое  $\text{SnO}_2$ , соизмерима с энергией, поглощенной в приповерхностном слое  $\text{Sn}$ . Следовательно, при облучении лазерным излучением оловянной мишени с окисленной поверхностью происходит одновременное разрушение как окисной пленки, так и приповерхностной зоны оловянной мишени. В результате в эрозионном лазерном факеле содержатся одновременно ионы кислорода и олова.

Следует отметить, что в наших экспериментах при подготовке мишени и ее последующем окислении в атмосферных условиях граница  $\text{SnO}_2$  и  $\text{Sn}$  имеет шероховатость. После воздействия лазерного излучения в вакууме на поверхности мишени за счет поверхностного натяжения в жидкой фазе формируется гладкая поверхность с увеличением коэффициента отражения. При воздействии лазерного излучения последующего импульса коэффициент поглощения материала мишени уменьшается, а в лазерной плазме резко уменьшается содержание ионов кислорода.

Поведение кривых на рис. 2 определяется тем, что при одной и той же плотности мощности воздействующего излучения в промежутке мишень-сетка образуется плотная плазма, а затем за счет увеличения коэффициента отражения от по-

верхности мишени ее плотность резко уменьшается.

При вращении мишени и многократном воздействии лазерного излучения формируется след в виде круга диаметром  $\sim 2$  см. За 1 секунду точка воздействия лазерного излучения проходит 2 мм. За это время происходит воздействие почти пятью лазерными импульсами. Диаметр луча лазерного излучения 2 мм.

### Заключение

Таким образом, при значительном перекрытии зон воздействия происходит очистка поверхности мишени от пленки  $\text{SnO}_2$ . Данный эффект можно использовать для дополнительной очистки поверхности лазерной мишени, когда в составе наносимого покрытия нежелательно присутствие кислорода или других элементов, содержащихся на поверхности мишени. Для этого необходимо перед подложкой поставить экран, а после  $\sim 2$  мин убрать его. В результате на подложку будет наноситься нанопокрывание с минимальным содержанием нежелательных примесей.

### Библиографические ссылки

1. Гончаров В.К., Пузырев М.В., Ступакевич В.Ю. Устройство управления параметрами эрозионного лазерного факела в вакууме для осаждения наноструктурированных покрытий на различные материалы: пат. ВУ 12575. Оpubл. 30.04.2021.
2. Рябцев С.В., Чувенкова О.А., Канныкин С.В., Попов А.Е., Рябцева Н.С., Воищев С.С., Турищев С.Ю., Домашевская Э.П. Электрофизические и оптические свойства оксидных нанослоев, полученных термическим окислением металлического олова. *Физика и техника полупроводников*. 2016; 50(2): 180-184.