# РЕЖИМЫ ФОРМИРОВАНИЯ НАНОСТРУКТУР ИЗ ЛАЗЕРНО-ПЛАЗМЕННОГО ИСТОЧНИКА ИОНОВ ПРИ ПОНИЖЕННЫХ ПОТЕНЦИАЛАХ УПРАВЛЯЮЩЕГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

В.К. Гончаров, М.В. Пузырёв

Белорусский государственный университет, Институт прикладных физических проблем им. А.Н. Севченко, ул. Курчатова 7, Минск 220045, Беларусь, v.k.goncharov.39@gmail.com, puzyrev@bsu.by

Работа посвящена оптимизации режимов формирования наноструктур с помощью лазерно-плазменного источника ионов. Показано, что при малых ускоряющих потенциалах необходимо учитывать сопротивление нагрузки в цепи сетка-подложка. Найдены оптимальные условия для формирования наноструктур при пониженных потенциалах ускоряющего поля. На основе проведенных экспериментов оценена конструкционная (паразитная) емкость источника, которая составляет ~40 нФ. Это важно для проведения дальнейших исследований.

Ключевые слова: лазерная плазма; ионные пучки; наноструктуры.

# REGIMES OF NANOSTRUCTURES FORMATION FROM A LASER-PLASMA ION SOURCE AT LOW POTENTIALS OF THE CONTROLLING ELECTRIC FIELD

### V.K. Goncharov, M.V. Puzyrev

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

The work is devoted to the optimization of the regimes nanostructures formation of using a laser-plasma source of ions. It is shown that at low accelerating potentials it is necessary to consider the load resistance in the interval the grid-substrate. The optimal conditions for the nanostructures formation at reduced potentials of the accelerating field have been found. The structural (parasitic) capacitance of the source was estimated on the basis of these experiments. It is ~40 pF. This is important for further research.

Keywords: 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 нанопокрытия 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

Воздействие на мишень из алюминия марки A7 производилось излучением лазера YAG: Nd<sup>3+</sup> LS-2137 фирмы Lotis –

15-я Международная конференция «Взаимодействие излучений с твердым телом», 26-29 сентября 2023 г., Минск, Беларусь 15th International Conference "Interaction of Radiation with Solids", September 26-29, 2023, Minsk, Belarus ТІІ. Измерения производились с помощью осциллографа Tektronix TDS 2022В.

Электрическая схема эксперимента изображена на рис. 1.



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

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 с прозрачностью 90% 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=4.5·10<sup>8</sup> Вт/см<sup>2</sup>. 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 50 Ом. в цепи подложки изменялось и составляло: 50 Ом, 390 Ом, 1.6 кОм.

#### Результаты и их обсуждение

Как видно из рис. 2(а), когда сопротивления нагрузки в цепи зонда и подложки равны 50 Ом наблюдается следующая картина. Первоначально ток на нагрузках и зонда и подложки растет и в момент ~7 мкс достигает максимума, после чего уменьшается вплоть



Рис. 2. Потенциалы на зонде (1) и подложке (2) в зависимости от времени при различных нагрузочных сопротивлениях на подложке: (а) – 50 Ом; (б) - 390 Ом; (в) - 1.6 кОм

до 0 (~15 мкс), затем начинает течь в противоположную сторону. Это можно объяснить тем, что поверхности зонда и подложки быстро заряжаются потоком ионов в дальнейшем начинают отражать последующие подлетевшие ионы.

<sup>15-</sup>я Международная конференция «Взаимодействие излучений с твердым телом», 26-29 сентября 2023 г., Минск, Беларусь 15th International Conference "Interaction of Radiation with Solids", September 26-29, 2023, Minsk, Belarus

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 С – 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<sub>H</sub> определяется соотношением:  $U_H = U_0 - U_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$ , где

U0 – максимальный потенциал между сеткой и подложкой, определяемый кинетической и потенциальной энергией ионов, t - текущее время, т=R<sub>H</sub>C<sub>H</sub>; С<sub>H</sub> - паразитная емкость конструкции. Исходя из этого соотношения видно, что для устранения дифференцирующего эффекта необходимо увеличить сопротивление нагрузки подложки. На рис. 2(б) представлены кривые потенциала на нагрузках зонда (50 Ом) и подложки (390 Ом). Как видно из рисунка дифференцирующий эффект заметно меньше. На рис. 2(в) представлены кривые потенциалов на нагрузках зонда (50 Ом) и подложки (1.6 кОм). Как видно из рисунка при нагрузке на подложке 1.6 кОм искажения первоначальной формы импульса ионного тока практически не заметно. Согласно [3] такая ситуация соответствует соотношению  $\tau = RC \ge T_{\mu}$ , где R – сопротивление нагрузки, C – паразитная емкость, Т<sub>и</sub> – длительность импульса ионного потока. Исходя из этого

соотношения была оценена паразитная емкость конструкции лазерноплазменного источника ионов для формирования наноструктур паразитная емкость составляет ~40 нФ. Это очень важно для проведения дальнейших исследований.

### Заключение

Таким образом, показано, что используя лазерно-плазменный источник при пониженных потенциалах ускоряющего поля, в том числе и без него, для оптимизации процессов формирования наноструктур следует учитывать величину нагрузочного сопротивления в цепи подложки.

В результате проведенных экспериментов оценена паразитная емкость конструкции источника, что важно для проведения дальнейших исследований

## 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. 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. Ицхоки Я.С. Импульсные устройства. Москва: Советское радио; 1959. 727 с.

<sup>15-</sup>я Международная конференция «Взаимодействие излучений с твердым телом», 26-29 сентября 2023 г., Минск, Беларусь 15th International Conference "Interaction of Radiation with Solids", September 26-29, 2023, Minsk, Belarus