

**ФОРМИРОВАНИЕ ИОННЫХ ПОТОКОВ ИЗ ЛАЗЕРНОЙ ПЛАЗМЫ АЛЮМИНИЯ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ПЛОТНОСТЯХ МОЩНОСТИ ВОЗДЕЙСТВУЮЩЕГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

**Гончаров В.К., Пузырёв М.В., Ступакевич В.Ю.**

*Научно-исследовательское учреждение «Институт прикладных физических проблем им. А.Н.Севченко» Белорусского государственного университета, г. Минск, Беларусь, E-mail: puzyrev@bsu.by*

**Введение**

Лазерный источник плазмы имеет ряд преимуществ перед другими источниками плазмы. Во-первых, дает возможность получить плазму из любого вещества; во – вторых источник плазмы ограничен в пространстве; в – третьих данный источник позволяет получить плазму без дополнительных добавок материала электродов, элементов возбуждения и т.д. Кроме того, данным источником можно легко управлять, что очень важно для получения нанопокровов на различных материалах.

Настоящая работа посвящена формированию ионных потоков из лазерной плазмы алюминия с целью осаждения нанопокровов с высокой адгезией на различные материалы.

**Эксперимент**

Для воздействия на мишень был использован YAG:Nd<sup>3+</sup> лазер LS-2137 фирмы Lotis-TII с длиной волны  $\lambda=1064$  нм и длительностью импульса на полувывсоте  $\tau=20$ нс. Мишень из алюминия марки А7 устанавливалась под углом 45° к оси лазерного луча. Эксперименты проводились в вакууме при давлении остаточных газов  $\sim 10^{-3}$  Па. Мишень вращалась со скоростью 2 об/мин, чтобы предотвратить образование глубокого кратера на поверхности мишени, что может сказаться на пространственной форме эрозионного факела. Контроль временных характеристик проводился с помощью осциллографа TektronixTDS 2022В.

**Обсуждение результатов**

Как было показано в [1] при воздействии лазерного излучения наносекундного диапазона на мишень в вакууме в эрозионном лазерном факеле формируется двойной электрический слой. На переднем фронте движутся наиболее быстрые электроны, а за ними формируется слой ионов. Для управления энергией ионов можно приложить отрицательный потенциал на подложку. Однако сложное взаимодействие между потенциалом подложки и потенциалами в двойном электрическом слое приводят к сложным колебаниям потенциалов и практически к невозможности управления потоками ионов на подложку. Поэтому было предложено между лазерной мишенью, где формируется эрозионный лазерный факел, и подложкой, на которую наносится пленка, поставить сетку. При этом на сетку подается отрицательный потенциал по отношению к мишени. В этом случае электроны возвращаются на мишень, а поток ионов, проходящих через сетку, движется к подложке. Подавая различный положительный потенциал на сетку по отношению к подложке можно регулировать энергию ионов, поступающих на подложку, тем самым изменяя режим нанесения пленок.

В наших экспериментах сетка располагалась на расстоянии 6 см от лазерной мишени, а подложка на расстоянии 12 см от мишени.

Для формирования ионных пучков на сетку по отношению к мишени был приложен отрицательный потенциал -30В ("-" на сетке, "+" на мишени). Это оказалось достаточно для того, чтобы электроны отразились от сетки, а на неё поступали только ионы. При этом на сетку по отношению к подложке подавались различные положительные потенциалы «+50В», «+200В» и «+400В» ("-" на подложке, "+" на сетке).

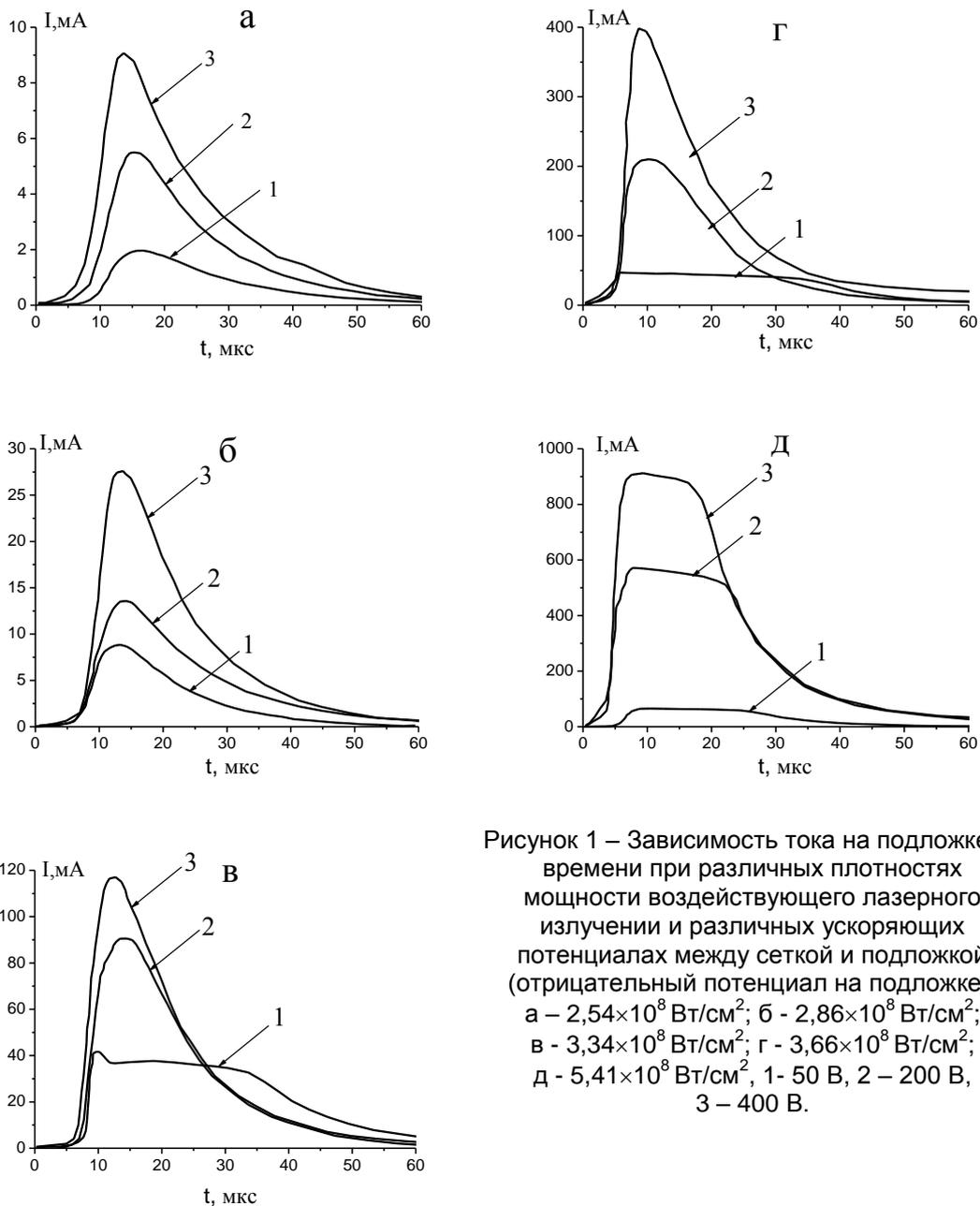


Рисунок 1 – Зависимость тока на подложке от времени при различных плотностях мощности воздействующего лазерного излучения и различных ускоряющих потенциалах между сеткой и подложкой (отрицательный потенциал на подложке): а –  $2,54 \times 10^8$  Вт/см<sup>2</sup>; б -  $2,86 \times 10^8$  Вт/см<sup>2</sup>; в -  $3,34 \times 10^8$  Вт/см<sup>2</sup>; г -  $3,66 \times 10^8$  Вт/см<sup>2</sup>; д -  $5,41 \times 10^8$  Вт/см<sup>2</sup>, 1- 50 В, 2 – 200 В, 3 – 400 В.

Кроме того, все эти эксперименты проводились при различных плотностях мощности воздействующего лазерного излучения. Результаты экспериментов приведены на рисунке 1. Из этого рисунка видно, что при малых плотностях мощности воздействующего лазерного излучения ( $2,5 \times 10^8$  Вт/см<sup>2</sup>) ионные токи на подложку зависят от приложенного потенциала к промежутку сетка-подложка (см. рис. 1а). При этом временная форма импульсов близка к временной форме лазерной плазмы.

При увеличении плотности мощности лазерного излучения ( $2,9 \times 10^8$  Вт/см<sup>2</sup>) качественные результаты аналогичны предыдущему случаю. Однако, количественно заметно значительное увеличение ионного тока на подложку (см. рис. 1б).

При воздействии лазерного излучения на мишень плотностью мощности ( $3,3 \times 10^8$  Вт/см<sup>2</sup>) при потенциале между сеткой и подложкой 50 В наблюдается резкое изменение временной формы ионного тока (см. рис. 1в, кривая 1). После достижения максимума ионный ток на подложку не спадает по экспоненциальному закону, а некоторое время стабилизируется во времени и длительность импульса тока увеличивается. Это может быть связано с тем, что поток ионов вследствие большей ионизации увеличивается, и он начинает экранировать постоянный отрицательный

потенциал, подаваемый на подложку. Наступает момент, когда число подлетающих к подложке ионов сравнивается с числом ионов, уходящих на заземляющий электрод.

При увеличении постоянного потенциала на промежутке сетка-подложка эффект стабилизации ионного тока пропадает, так как в этом случае потенциал сетки при таких потоках ионов трудно скомпенсировать (см. рис. 1в, кривая 2,3). Однако в этом случае ионный поток на подложку существенно больше, чем в предыдущих случаях.

Аналогичные результаты наблюдаются и при плотности мощности воздействующего излучения,  $3,7 \times 10^8$  Вт/см<sup>2</sup>, однако величины токов существенно увеличиваются (см. рис. 1, г).

При воздействии на мишень лазерным излучением плотностью мощности  $5,4 \times 10^8$  Вт/см<sup>2</sup> ионные потоки обладают такой величиной, что при этом стабилизация ионного тока наблюдается даже при постоянном потенциале на промежутке сетка-подложка в 400В (см. рис.1д). Это объясняется слишком большим потоком ионов на подложку.

### **Заключение**

Таким образом, эксперименты по получению ионных потоков для нанесения наноплёнок алюминия из лазерной плазмы показали, что для увеличения скорости ионов в промежутке сетка-подложка необходимо приложить положительный потенциал на сетку по отношению к подложке.

При изменении плотности мощности воздействующего на алюминиевую мишень лазерного излучения повышается ионизация плазмы и, как следствие, увеличение ионного потока.

Найдены условия, при которых ионный ток по своей величине стабилизируется. Это объясняется соотношением энергии ионов и величины ионного потока с величиной постоянного потенциала в промежутке сетка-подложка и со временем стекания ионов на заземляющий электрод. Это время определяется паразитной ёмкостью подложки, сопротивлением утечки и внутренним сопротивлением источника питания.

Изменение режимов напыления можно регулировать не только с помощью плотности мощности лазерного излучения и постоянного потенциала, подаваемого на промежутки сетка-подложка, но и за счёт времени стекания ионов на заземляющий электрод.

Таким образом, экспериментально показано несколько способов управления режимами нанесения нанопленок в вакууме.

### **Список литературы:**

1. Гончаров, В.К. Лазерно-плазменный источник ионов с регулируемой энергией для нанесения нанопленок [Текст] / В.К. Гончаров, А.Е. Василевич, В.Ю.Ступакевич, М.В. Пузырёв // Электроника инфо – 2016 - №5. – С. 54 – 57.