

Гончаров В.К., Козлова Е.И., Пузырёв М.В., Ступакевич В.Ю.

ИСТОЧНИК ИОНОВ АЛЮМИНИЯ С РЕГУЛИРУЕМОЙ ЭНЕРГИЕЙ ИОНОВ

Научно-исследовательское учреждение «Институт прикладных физических проблем имени А.Н.Севченко» Белорусского государственного университета
Минск, Беларусь, puzyrev@bsu.by

Эксперименты показали, что в эрозионном лазерном факеле алюминиевой мишени в вакууме формируется двойной электрический слой. Эрозионный лазерный факел формировался при облучении мишени импульсами YAG:Nd³⁺ лазера с длиной волны $\lambda = 1064$ нм длительностью импульса $\tau = 20$ нс.

В эксперименте использовались две управляющие сетки. С помощью величины потенциала первой сетки можно регулировать соотношение электронов и ионов, попадающих на подложку. Найден отрицательный потенциал сетки по отношению к мишени (-30 В), при котором на подложку поступают только ионы. Используя вторую сетку можно управлять энергией ионов, а также плотностью потока ионного тока на подложке.

Введение. Лазерно-плазменное нанесение плёнок имеет ряд преимуществ по сравнению с другими методами. К ним, прежде всего, относятся: относительно простое управление параметрами плазмы, возможность получения плазмы практически из любого материала, стерильность лазерного излучения, то – есть при воздействии лазерного излучения на мишень в вакууме в плазме не появляются примеси по отношению к составу лазерной мишени.

Настоящая работа посвящена получению ионов алюминия с регулируемой энергией для нанесения алюминиевых плёнок.

Эксперимент. Для воздействия на мишень был использован импульсный YAG:Nd³⁺ лазер LS-2137 фирмы Lotis-TII с длиной волны $\lambda = 1064$ нм и длительностью импульса по полувысоте $\tau = 20$ нс. Мишень устанавливалась под углом 45° к оси лазерного пучка. Измерение проводилось в вакууме при давлении остаточных газов $\sim 10^{-3}$ Па. Мишень вращалась со скоростью 2 об/мин, чтобы предотвратить образования глубокого кратера на поверхности

мишени, что может сказаться на пространственной форме эрозионного факела.

Мишень была изготовлена из технического чистого алюминия марки А7. Все эксперименты проводились при одной плотности мощности лазерного излучения $2,86 \times 10^8$ Вт/см², так как в этом случае эрозионный лазерный факел имеет достаточную плотность плазмы для осаждения покрытий и в то же время имеет малое количество частиц жидкокапельной фазы материала мишени [1]. Контроль временных характеристик производился с помощью осциллографа Tektronix TDS 2022B.

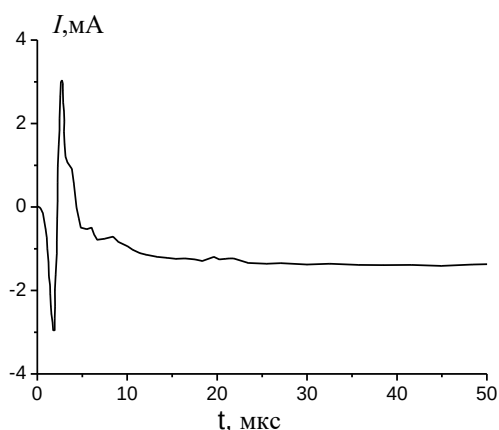


Рисунок 1 – Зависимость во времени тока электронной и ионной компоненты на подложке при потенциале между сеткой и мишенью 0 В и между сеткой и подложкой 0 В.

Обсуждение результатов.

Как было показано [2] 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 (рисунок.1).

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, проходя через сетку, движется к подложке, после сетки поток заряженных частиц состоит преимущественно из ионов.

Подавая различный положительный потенциал на сетку по отношению к подложке можно регулировать энергию ионов, поступающих на подложку, тем самым изменяя режимы нанесения пленок.

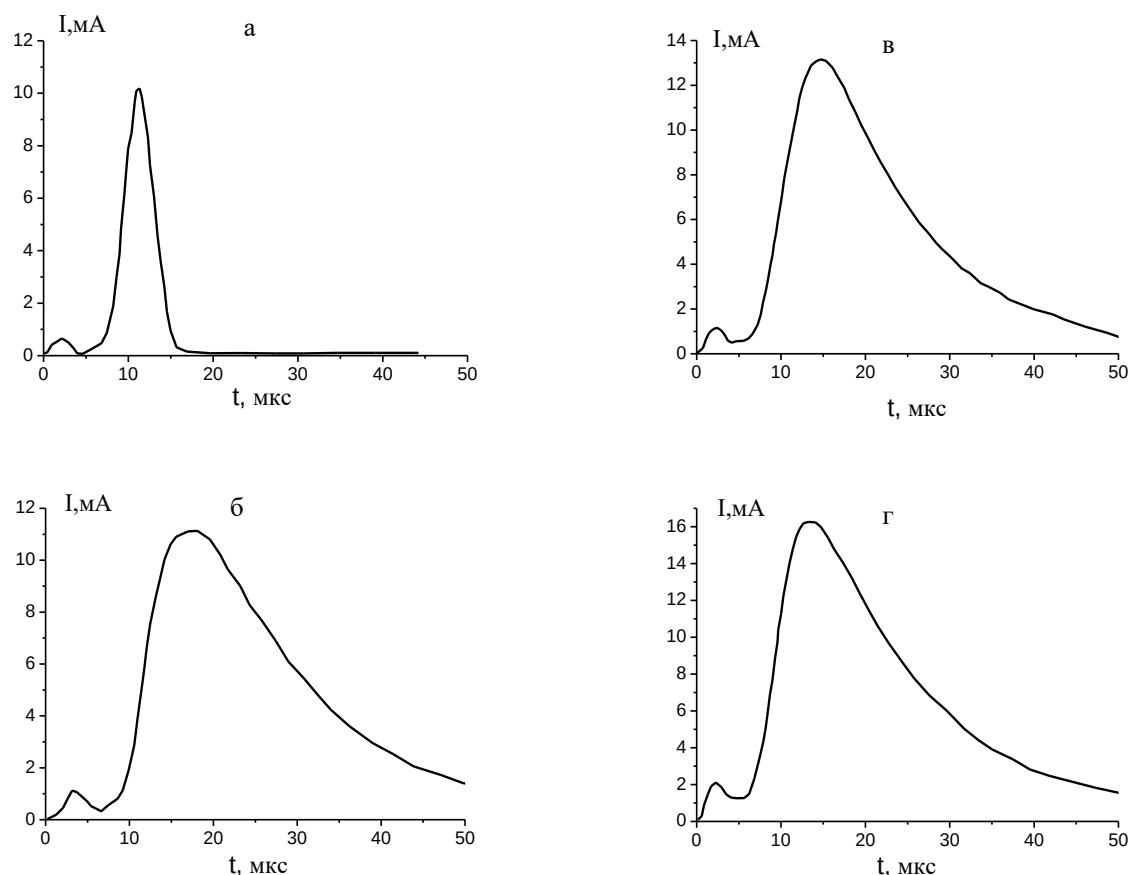


Рисунок 2 – Зависимость во времени тока ионной компоненты на подложке при различных потенциалах между сеткой и подложкой ("+" на сетке, "-" на подложке): а – 0 В; б – 50 В; в – 200 В; г – 400 В. На управляющей сетке постоянный потенциал между мишенью и сеткой ("+" на мишени, "-" на сетке) – 30 В. Плотность мощности воздействующего лазерного излучения $2,86 \times 10^8$ Вт/см².

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

Если на сетку не подавать потенциалы по отношению к мишени и подложки, то на подложку через некоторое время, определяемое скоростью частиц, начнут поступать электроны, а через некоторое время ионы. Это видно из рисунка 1.

Для формирования ионных пучков на сетку по отношению к мишени был приложен отрицательный потенциал "-" 30 В. Этого оказалось достаточно для того, чтобы электроны отразились от сетки, а на неё поступали только ионы. Поэтому после сетки на подложку поступает поток заряженных частиц преимущественно в виде ионов. Это видно из рисунка 2 а.

Для управления энергией ионного потока на сетку по отношению к подложке подавался положительный потенциал. На рисунке 2, б представлен график тока подложки в зависимости от времени при подаче на неё потенциала 50 В отрицательного напряжения по отношению к сетке. При увеличении этого потенциала (см. рисунок 2, в, г) происходит увеличение ионного тока. При этом также наблюдается увеличение времени существования ионного тока.

По нашему мнению данный процесс можно описать следующим образом. При малых напряжениях ("+" на сетке "-" на подложке) ионы с малыми скоростями в присеточном пространстве притягиваются сеткой и уходят на заземляющий электрод. Ионы, обладающие большей кинетической энергией, имеющие большую скорость пролетают сеточное пространство. При увеличении положительного потенциала сетки по отношению к подложке эта часть ионов достигает подложки. Происходит перераспределение ионных потоков от сетки к подложке. А так как эти ионы имеют меньшую скорость, то происходит увеличение времени существования ионного потока.

Пик заряженных частиц перед основным импульсом на подложке можно объяснить небольшим количеством более быстрых двукратно ионизированных атомов материала лазерной мишени.

Таким образом, помещая сетку между лазерной мишенью и подложкой, подавая на неё отрицательный потенциал по отношению к подложке, можно получать поток заряженных частиц на подложку преимущественно в виде ионов. Подавая на сетку положительный потенциал различной величины по отношению к подложке, можно регулировать энергию ионов. Это позволяет регулировать режимы нанесения плёнок на подложку.

Список литературы

1. Гончаров, В.К. Осаждение наноразмерных плёнок Cu и Al в вакууме лазерным методом [Текст] / В.К. Гончаров, Г.А. Гусаков, М.В. Пузырёв // ИФЖ. – 2013 – Т.86, №5. – С. 960 – 966.
2. Гончаров, В.К. Лазерно-плазменный источник ионов с регулируемой энергией для нанесения наноплёнок [Текст] / В.К. Гончаров, А.Е. Василевич, В.Ю. Ступакевич, М.В. Пузырёв // Электроника инфо – 2016 – №5. – С. 54 – 57.