

УДК 533.9: 539.211

ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ЛАЗЕРНО-ПЛАЗМЕННОМ
ИСТОЧНИКЕ НАНЕСЕНИЯ НАНОПОКРЫТИЙ

Д. П. ПРОКОПЕНЯ, М. В. ПУЗЫРЕВ, Н. И. ШУЛЬГАН

Институт прикладных физических проблем имени А. Н. Севченко
Минск, Беларусь

Одним из методов осаждения наноплёнок на различные материалы (подложки) является лазерно-плазменный. Он имеет несколько преимуществ перед другими методами. Во-первых – это возможность получить плазму практически из любого вещества; во-вторых – стерильность, то есть при нанесении плёнок в вакууме лазерное излучение не вносит дополнительных примесей в осаждаемое покрытие. Кроме того, лазерно-плазменный метод позволяет легко автоматизировать процесс нанесения наноплёнок.

Для воздействия на мишень был использован импульсный Nd³⁺:YAG лазер LS-2137 фирмы Lotis-ТП с длиной волны $\lambda=1064$ нм и длительностью импульса на полувывсоте $\tau = 20$ нс. Мишени устанавливались под углом 45° к оси лазерного луча. Исследования проводились в вакууме при давлении ~ 10 мПа. Мишень вращалась со скоростью 2 об/мин, чтобы предотвратить образование глубокого кратера на ее поверхности. Расстояние от мишени до подложки составляло 12 см. Изображения получали с помощью осциллографа Textronix TDS-2022C.

С целью облегчения автоматизации процесса напыления наноплёнок лазерно-плазменным методом было предложено получать из такой плазмы поток ионов и плавно регулировать энергию ионов и плотность потока с помощью плавного изменения потенциала электрического поля.

Электрическая схема эксперимента представлена на рис. 1.

Было показано, что при подаче отрицательного потенциала на сетку по отношению к мишени после сетки поток заряженных частиц состоит преимущественно из ионов. Энергией ионов и плотностью их потока достаточно просто управлять положительным потенциалом, подаваемым на сетку по отношению к подложке. При воздействии лазерного излучения на медную мишень проведены измерения ионного тока на подложке из кремния КДБ 0,3.

Результаты таких экспериментов представлены на рис. 2.

Первый острый пик объясняется потоком электронов из подложки формируемым за счет фотоионизации при воздействии на подложку отраженного от мишени лазерного излучения (порядка 50 %). Пик положительный, потому что электроны летят в обратную сторону, и регистрируется практически без задержки. Через некоторое время, определяемое скоростью ионного потока, ионы достигают поверхности подложки.



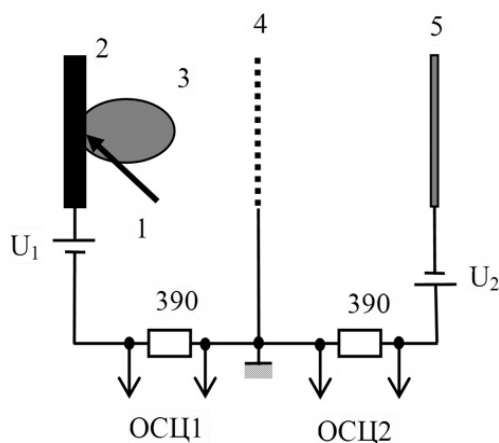


Рис. 1. Схема эксперимента: 1 – лазерное излучение; 2 – лазерная мишень; 3 – эрозионный факел; 4 – сетка; 5 – подложка; ОСЦ1, ОСЦ2 – сигналы, снимаемые на первый и второй лучи осциллографа с сопротивлений нагрузки 390 Ом; U_1 и U_2 – независимые источники питания. Расстояние от подложки до мишени составляет 12 см и от сетки до мишени – 6 см

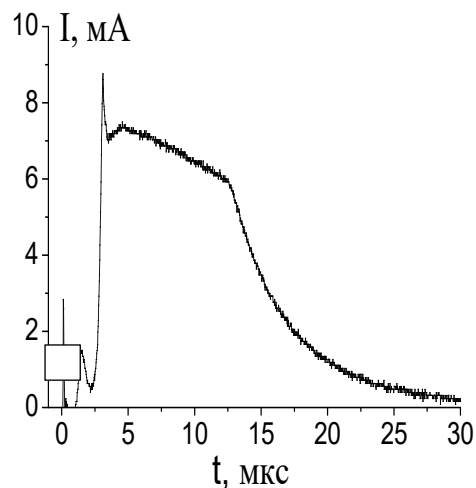


Рис. 2. Зависимость тока подложки от времени при воздействии лазерного излучения на медную мишень и подложку из кремния КДБ 0,3. Плотность мощности воздействующего лазерного излучения – $1,78 \text{ ГВт/см}^2$. Потенциал между сеткой (-) и мишенью (+) равен 20 В, потенциал между сеткой (+) и подложкой (-) – 50 В

На переднем фронте импульса ионов находятся самые быстрые и их энергии достаточно для внедрения (диффузии) в поверхность подложки. Заряд, появляющийся на подложке, начинает несколько замедлять основной ионный поток, и поэтому видим уменьшение ионного потока.

В дальнейшем, несмотря на уменьшение энергии ионов, за счет увеличения их концентрации происходит резкий рост ионного тока на подложку. Так как к этому времени энергии ионов недостаточно для диффузии, а сечение поглощения увеличивается, то происходит вторичная эмиссия ионов и ограничение регистрируемого общего тока ионов за счет противоположного движения ионов. Через некоторое время энергии ионов падающего ионного потока недостаточно для вторичной эмиссии, и ионный поток спадает по экспоненте.

Резкий положительный пик на вершине импульса определяется обратным током электронов для компенсации заряженной ионами поверхности подложки за счет диффузии.

Таким образом, эксперименты показали, что, не разгерметизируя вакуумную камеру, можно производить травление подложки, создание псевдодиффузионного слоя и нанесение нанопокровов.