

УДК 621.793.14

Методы устранения капель и макрочастиц в процессе нанесения покрытий методом лазерной абляции в вакууме

Родькин Д. Г., студент

*Белорусский национальный технический университет,
Минск, Республика Беларусь;*

Научный руководитель: к. т. н., доцент Комаровская В. М.

Аннотация.

В данной статье описана проблема образования капель и макрочастиц материала в эрозионном факеле при нанесении покрытий методом лазерной абляции в вакууме. Рассмотрены существующие способы устранения данного явления.

При взаимодействии высокоэнергетического лазерного импульса с материалом мишени образуются не только твердые микрочастицы материала мишени, но и нейтральные частицы, электроны, ионы. В работе [1] указано, что на траекторию движения этих частиц значительное влияние оказывают технологические режимы работы лазера, а также давление в вакуумной камере.

В случае, когда мощность лазерного импульса будет выше порога режима абляции, происходит микровзрыв с образованием кратера на поверхности мишени и светящейся плазмы вместе с разлетающимися каплями и твердыми макрочастицами. Капли и твердые макрочастицы значительно ухудшают качественные показатели наносимых покрытий, а в некоторых случаях, делают изделие с нанесенным покрытием совершенно непригодным для использования, что является существенной проблемой при нанесении покрытий методом лазерной абляции. В связи с этим, учеными разработаны различные способы устранения данного недостатка. Рассмотрим некоторые из них.

Авторами работы [2] в ходе исследований замечено, что для равномерного распыления материала мишени и получения пленок с низкой шероховатостью необходимо, чтобы лазерный импульс как можно реже попадал в одни и те же точки поверхности мишени. По этой причине при формировании пленок методом лазерной абля-

ции производилось сканирование лазерного луча по поверхности мишени. Это осуществлялось при помощи оптической системы позиционирования луча, позволяющей перемещать луч построчно в пределах заданного прямоугольника.

Таким образом, авторам данной работы удалось добиться практически полного отсутствия капель и макрочастиц на поверхности полученных пленок при распылении нитрида алюминия (AlN) на подложки из лейкосапфира Al_2O_3 . Также они утверждают, что проведение термического отжига позволяет полностью избавиться от капель на поверхности пленок.

Авторами работы [3] представлены результаты исследования по напылению тонких пленок арсенида алюминия-галлия ($Al_xGa_{1-x}As$) и фосфида галлия (GaP) на кремниевых (Si) подложках методом лазерной абляции. Для предотвращения появления микрокапель на поверхности синтезируемых пленок был применен метод механической сепарации осаждаемых частиц. В качестве сепаратора использовалась комбинация двух сеток, вибрирующих с частотой 100 Гц. Диаметр ячейки сетки составлял 1 мм². Применение механического сепаратора позволило авторам работы [3] улучшить морфологию получаемых покрытий и снизить их шероховатость.

Учеными института проблем лазерных и информационных технологий («ИПЛИТ РАН») в работе [4] установлено, что скорость разлета капель, атомов и ионов в лазерной плазме имеет существенное различие. Данный факт был использован учеными для разработки конструкции механического сепаратора (пат. RU 89906 U1 [5]).

Механический сепаратор представляет собой вращающийся (с высокой скоростью) диск с отверстием, который устанавливается на пути разлета плазмы. Скорость вращения диска подобрана в соответствии с частотой лазерных импульсов. Когда отверстие диска располагается над зоной абляции мишени происходит импульс излучения и заряженные частицы беспрепятственно попадают на основу, а более тяжелые частицы (капли и макроблоки), обладающие меньшей скоростью, ударяются в сплошную часть диска.

Еще одним вариантом конструктивного исполнения данного сепаратора является размещение радиально направленных лопаток вблизи отверстия в диске-обтюраторе. Для этой конструкции в отли-

чие от первой не нужна синхронизация лазерных импульсов с вращением диска, однако для полного удаления капель необходима скорость вращения более $15\ 000\ \text{мин}^{-1}$.

Также, в «ИПЛИТ РАН» разработан и запатентован (пат. RU 93583 U1 [6]) способ устранения капель и макрочастиц методом перекрещивающихся пучков. Сущность данного метода заключается в следующем. Два лазерных источника, и две мишени соответственно, устанавливаются под углом относительно друг друга, на небольшом расстоянии. При воздействии лазерного излучения на поверхность мишени происходит локальный разогрев и испарение вещества. Распыленные частицы материала направляются от мишеней в виде плазменных факелов, которые пересекают друг друга на определенном расстоянии от зоны эрозии. При пересечении факелов за счет неупругого кулоновского взаимодействия происходит отклонение части ионов эрозионных факелов от первоначального направления разлета. При этом, более тяжелые капли распространяются в пределах собственных плазменных факелов, не взаимодействуя друг с другом и, как следствие, не отклоняясь от первоначальной траектории движения. Также, за счет изменения угла между мишенями данный метод позволяет управлять энергией ионов абляционного факела в широком диапазоне [7].

Еще одним способом улучшения качественных характеристик покрытий, получаемых методом лазерной абляции в вакууме, является подбор параметров технологического процесса (давление в камере, энергия лазерного импульса, частота повторения импульсов, длина волны и др.), влияющих непосредственно на энергетический состав абляционного факела, количество вещества, испаряемого за один импульс лазера, порог режима абляции и т. д. Однако, все эти параметры подбираются экспериментально для каждого технологического процесса, в зависимости от материала мишеней, материала подложки, расстояния между ними и т. д.

Список использованных источников

1. Булаев, С. А. Сущность импульсного лазерного напыления в вакууме как способа получения пленок нанометровых толщин / С. А. Булаев // Вестник Казанского технологического университета. – 2014. – Т. 17, № 18. – С. 25–28.

2. Девицкий, О. В. Импульсное лазерное напыление тонких пленок нитрида алюминия на сапфировые подложки / О. В. Девицкий, Д. А. Никулин, И. А. Сысоев // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2020. – Т. 20, № 2. – С. 177–184.

3. Лунин, Л. С. Импульсное лазерное напыление тонких пленок $Al_xGa_{1-x}As$ и GaP на подложках Si для фотопреобразователей / Л. С. Лунин [и др.] // Физика и техника полупроводников. – 2017. – Т. 51, вып. 3.

4. ИПЛИТ РАН [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://shatura.laser.ru/laser.ru/30/laser_plasma_spraying.pdf. – Дата доступа: 01.11.2022.

5. Устройство для лазерно-плазменного напыления : полез. модель RU89906 U1 / О. А. Новодворский, Е. В. Хайдуков, А. А. Лотин. – Опубл. 20.12.2009.

6. Устройство для лазерно-плазменного напыления : полез. модель RU93583U1 / О. А. Новодворский, Е. В. Хайдуков, А. А. Лотин. – Опубл. 27.04.2010.

7. Инженерно-педагогическое образование в XXI веке : материалы республиканской научно-практической конференции молодых ученых и студентов, Минск, 25 ноября 2022 г. / Беларус. гос. технич. ун-т ; редкол.: А. М. Маляревич [и др.]. – Минск : БНТУ, 2022. – С. 114–117.

УДК 621.793.14

Анализ существующего оборудования для лазерной абляции в вакууме

Родькин Д. Г., студент

Белорусский национальный технический университет,

Минск, Республика Беларусь;

Научный руководитель: к. т. н., доцент Комаровская В. М.

Аннотация.

В данной статье рассматриваются существующие установки для лазерной абляции в вакууме и описываются их особенности.