

цинком / Д.Г. Лин, Е.В. Воробьева, Н.В. Марченко // Журнал прикладной химии. – 2008. – Т. 81. – Вып. 11. – С. 1866-1871.

3. Лин, Д.Г. Термоокислительная стабилизация полимерных композитов, содержащих дисперсные наполнитель на основе металлов (обзор) / Д.Г. Лин, Е.В. Воробьева, В.М. Шаповалов // Материалы, технологии, инструменты. – 2013. – № 1. – С. 36-45.

4. Егоренков, Н.И. Исследование окисления и адгезии наполненного полиэтилена / Н.И. Егоренков, Д.Г. Лин, А.И. Кузавков // Высокомолек. соед. – 1975. – Т. 17А. – № 8. – С. 1858-1861.

УДК 621.793

Комаровская В.М., Гладкий В.Ю., Терещук О.И.

## **ОСАЖДЕНИЕ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ПОКРЫТИЙ В УСЛОВИЯХ ИОННОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ**

*БНТУ, Минск*

Ассистирование пучком ионов при конденсации покрытия обеспечивает поддержание высокой подвижности поверхностных атомов. Ионная бомбардировка управляет механизмом роста конденсируемого покрытия при помощи энергии, поставляемой в пленку ионами. Кинетическая энергия бомбардирующих ионов превращается в тепловую в очень малых объемах, которые затем охлаждаются с крайне высокими скоростями. Ионная бомбардировка в процессе осаждения также увеличивает плотность центров зародышеобразования, подвижность атомов, уменьшает количество вакансий и пор, вводит тепловую энергию непосредственно в поверхностную зону, стимулируя реакции и диффузионные процессы. Это приводит к уменьшению размеров зерен, способствует формированию нано-кристаллических пленок [1].

Для расширения технологических возможностей установки УРМ 3.279.048 предлагается установить в установку низкоэнергетичный ионный источник «Аида» (рисунок 1).

Источник представляет собой торцевой ускоритель Холла, предназначенный для ионного ассистирования при осаждении вакуумных покрытий, а также для реактивного травления, окисления и других технологических процессов [2]. Принцип работы ионного источника дается со ссылкой на рисунок 1. Нейтральные атомы или молекулы обозначены символом «O». Электроны обозначены отрицательным символом «-», а ионы – знаком «+».

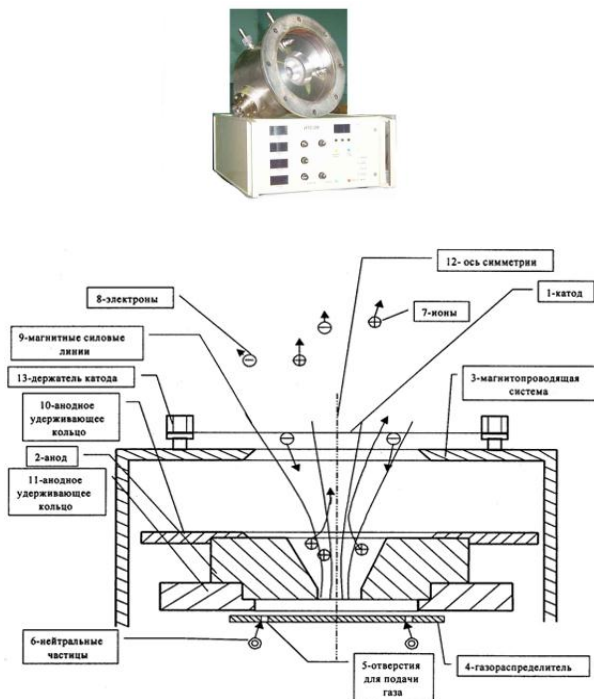


Рисунок 1 – Поперечное сечение верхней части ионного источника

Нейтральные атомы или молекулы рабочего газа подаются в ионный источник через отверстия или прорези 5 газораспределителя 4. Электроны 8, обладающие некоторой энергией при термоэлектронной эмиссии катода, следуют вдоль линий магнитного поля 9 в разрядную область, ограниченную анодом 2 до столкновения с атомами или молекулами в этой области. В результате столкновений образуются ионы. Смесь электронов и ионов в области разряда образуют газ, обладающий проводимостью, или плазму. Так как плотность нейтральных атомов или молекул быстро снижается в направлении от анода 2 к катоду 1, то большая часть ионизирующих столкновений с нейтральными частицами происходит в области, ограниченной анодом 2. Образовавшиеся ионы первоначально ускоряются как в направлении катода 1, так и по направлению к оси симметрии ионного источника 12. Обладая импульсом силы, эти ионы не останавливаются вблизи оси симметрии 12 ионного источника, а продолжают перемещаться к внутренней конусной поверхности анода 2, а затем отражаются данной поверхностью, имеющей положительный потенциал. В зависимости от того, где образуется ион 7, он может пересекать ось симметрии более одного раза до того как он покинет ионный источник. Из-за большого количества траекторий, ионы 7, которые покидают ионный источник, перемещаются за катод 1, образуя при этом широкий луч-конус. Положительный пространственный заряд, образованный вылетающими из источника ионами 7, нейтрализуется электронами 8 от катода 1. Большая часть электронов, эмитированная катодом 1, возвращается на анод 2, ионизируя при этом на своем пути нейтральные частицы. Разрядный промежуток, в котором происходит ускорения ионов, определяется расстоянием между катодом 1 и анодом 2 [2].

Модернизированная установка показана на рисунке 2. Напыление с ионным ассистированием позволит в более

широких диапазонах регулировать состав и структуру покрытия. Данное направление можно считать перспективным для дальнейшего развития многокомпонентных покрытий и улучшения их свойств. При обработке изделий ионным потоком газа ( $Ar^+$ ) происходит их очистка, а также активация поверхностного слоя. Эта операция во многих случаях позволяет исключить стадию нагрева изделия бомбардировкой ионами металлов или значительно сократить ее по времени.

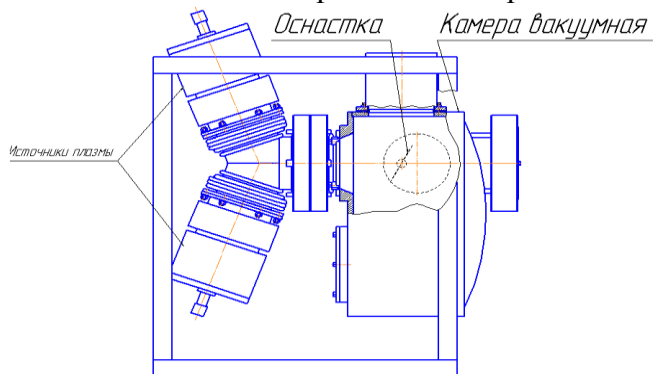


Рисунок 2 – Установка с ионным источником

Таким образом, появляется возможность снизить температуру процесса формирования функционального покрытия, а, следовательно, и температуру обрабатываемого изделия не ухудшая адгезионных характеристик сформированных покрытий. Хорошие результаты по повышению адгезионных характеристик вакуумных покрытий могут быть достигнуты и при использовании технологии нанесения покрытий методом электродугового испарения с «ионным ассистированием», когда ионный источник работает во время процесса формирования покрытия. Как показано в работе [3] при ионном ассистировании измельчается структура покрытия и уменьшается шероховатость.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Волосова, М.А. Технологические принципы осаждения износостойких нанопокровтий для применения в инструментальном производстве / М.А. Волосова, С.Н. Григорьев // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2010. – № 6. – С. 37-42.

2. Мушегян, В.О. Технология нанесения износостойких покрытий нитрида хрома на чеканочные инструменты с помощью магнетронного распыления / В.О. Мушегян // Научные труды Донецкого национального технического университета. – 2010. – №. 12. – С. 260-268.

3. Пилипцов, Д.Г. Морфология композиционных покрытий на основе углерода, подвергнутых обработке ионами азота / Д.Г. Пилипцов, А.С. Руденков, Р.В. Бекаревич // Проблемы физики, математики и техники. – 2010. – №3. – С. 31.

УДК 621.793

Комаровская В.М., Гречихин Л.И., Боровок О.А.  
**РАСЧЕТ ЭНЕРГИИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЧАСТИЦ  
ВАКУУМНО-ПЛАЗМЕННОГО ПОКРЫТИЯ  
С ПОВЕРХНОСТЬЮ ИЗДЕЛИЙ ИЗ СТЕКЛА**

*БНТУ, Минск*

В молекуле  $\text{SiO}_2$  взаимодействие атома кислорода О с радикалом SiO определяется ковалентной и ионной связями [1]. Средний ковалентный радиус молекулы  $\text{SiO}_2$  равен  $\sim 1,49 \text{ \AA}$ . Рассчитанная на основании этих данных энергия ковалентной связи составила 0,743 эВ. Доля ионной связи, определенная по методу Коулсона [124], равна 71 %. Следовательно, энергия ионной связи имеет величину 4,898 эВ. Результирующая энергия разрыва связи O–SiO равна 5,64 эВ, а экспериментальная величина – 5,66 эВ [2].