

- Отчёт – документ в формате RTF (расширенный текстовый формат) для вывода текстовой и графической информации.

Вывод: рассмотрев методику анализа статистических данных в системе STATISTICA, можно с уверенностью сказать, что она является несомненным лидером. Во-первых, она легка в освоении и использовании. Во-вторых, STATISTICA может работать в режиме как одного приложения, так и нескольких, что очень удобно для работы. В-третьих, STATISTICA обладает очень большими возможностями, которые я изложила выше.

УДК 671.768.3

Нычко В.Ю.

## **СОВРЕМЕННЫЕ ВАКУУМНЫЕ ПЛАЗМЕННЫЕ И ИОННО-ПЛАЗМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

*БНТУ, Минск, Республика Беларусь*

*Научный руководитель: Асташинский В.М.*

Физическая основа вакуумных ионно-плазменных технологий заключается в энергетическом воздействии заряженных частиц на материал мишени в вакууме и/или переносе материала мишени в результате воздействия на подложку. Вакуумные ионно-плазменные технологии позволяют проводить химико-термическую обработку поверхности (например, ионное азотирование, хромирование и др.). Этот процесс заключается в насыщении обрабатываемой поверхности легируемым веществом. Одним из основных достоинств этого метода является глубокое проникновение внедряемого элемента в приповерхностный слой, что не вызывает коробления детали и разупрочнение основного материала [1-4].

В настоящее время достаточно широкое распространение в технологиях нанесения тонкопленочных покрытий получили

магнетронные распылительные системы [1, 2]. В последние 10-15 лет разработан целый ряд модификаций магнетронов, имеющих очень привлекательные особенности. В первую очередь среди таких модификаций нужно отметить магнетроны с вращающейся цилиндрической мишенью, несбалансированные магнетронные распылительные системы. Каждая из этих модификаций позволяет решить целый ряд задач, которые не под силу традиционным плоским магнетронным распылительным системам.

Принцип действия всех магнетронов основан на скрещении магнитного и электрического полей (рисунок 1). Электроны сначала ускоряются электрическим полем, затем тормозятся перпендикулярным магнитным.

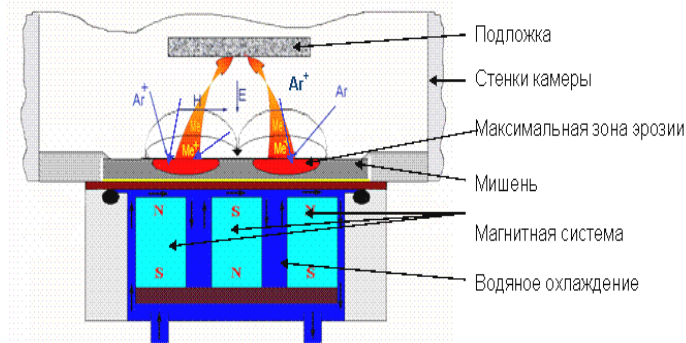


Рисунок 1 – Магнетронная распылительная система

Другим эффективным высокотехнологичным методом нанесения металлизационного покрытия на поверхности различных видов, является электродуговое напыление. Данная технология позволяет получать широкий спектр износостойких, коррозионностойких, жаростойких, электропроводящих и декоративных покрытий, защищающих металлические изделия и продлевающих срок их эксплуатации [3, 4].

Этот метод заключается в испарении металла или сплава в вакууме и конденсации его паров на поверхности пластинки (подложки). Качество и прочность пленок в большей степени

зависят от чистоты подложки. Поэтому поверхность подложки предварительно полируется и тщательно очищается.

Рассмотренный метод позволяет получать пленки разной толщины. Она регулируется изменением скорости или времени конденсации. На процесс формирования пленок оказывают влияние несколько факторов, наиболее существенным, из которых является температура подложки. В зависимости от этой температуры могут реализоваться различные механизмы конденсации, которые в большой степени определяют структурное состояние и магнитные свойства пленок.

В лаборатории физики плазменных ускорителей (ЛФПУ) Института физики НАН Беларуси проводятся экспериментальные исследования, направленные на изучение физических процессов, протекающих при воздействии высокоэнергетических компрессионных плазменных потоков, генерируемых квазистационарными плазменными ускорителями нового поколения, на различные материалы и приводящих к эффективной модификации их поверхностных свойств [5-8].

В плазменных ускорителях подводимая к разрядному устройству энергия идет на увеличение кинетической энергии образующегося плазменного потока, т.е. направленной скорости частиц плазмы.

Под ускорением плазменных образований понимают ускорение ионов при сохранении квазинейтральности плазмы. Электроны, благодаря малой массе, уже при комнатной температуре ( $\sim 300$  К) имеют скорость, большую чем 100 км/с, поэтому получение достаточно высокоэнергетических электронных потоков не вызывает существенных трудностей. В тоже время получение потока ионов даже самого легкого газа (водорода), обладающего такой же скоростью ( $\sim 100$  км/с), требует энергии ионов  $\sim 50$  эВ, что соответствует эффективной температуре  $\sim 580000$  К.

Экспериментальный стенд (рисунок 2) для исследований квазистационарного плазменного ускорителя типа магнитоплазменный компрессор состоит из вакуумного блока, включающего

камеру с системами откачки и напуска рабочего газа (водорода), энергетического блока, контрольно-измерительного блока, управляющего всеми узлами стенда и синхронизацией между ними, а также диагностического комплекса. Вакуумная камера образована двумя отсеками (диагностическим, с размерами 25×25×50 см, и пролетным, диаметром 30 см и длиной 100 см), составляющими единый объем длиной 150 см, в прямоугольном торце которого установлено разрядное устройство МПК.

Система подачи рабочего газа включает в себя балластный отсек, что позволяет использовать в качестве рабочего вещества любые газы, а также смешивать их в любом соотношении.

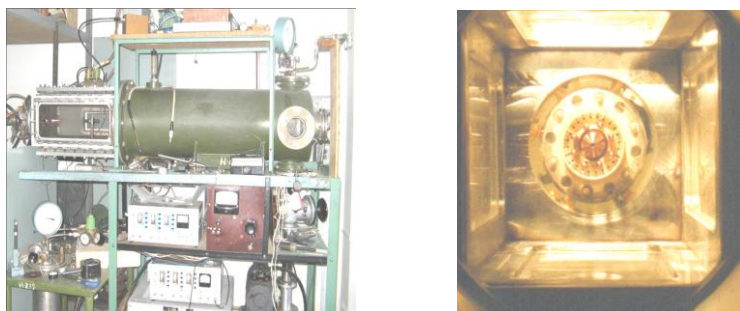


Рисунок 2 – Общий вид экспериментального стенда

Проведенные в ЛФПУ исследования позволили предложить новое научное направление – поверхностная плазменная металлургия, в рамках которого разрабатываются методы эффективной структурно-фазовой модификации поверхностных свойств различных материалов при воздействии на них высокоэнергетическими компрессионными плазменными потоками, нагруженными специально вводимыми в плазму мелкодисперсными упрочняющими частицами (молибден, вольфрам, титан, цирконий и др.) [5-7].

Такое воздействие приводит к глубокому (15..100 мкм) плавлению поверхностного слоя материала, жидкофазному перемешиванию в расплавленном слое легирующих элементов с подложкой и одновременному синтезу новых

упрочняющих соединений (интерметаллидов, нитридов, карбидов и их твердых растворов).

Такой энерго- и ресурсосберегающий подход, недоступный для других методов обработки, позволяет существенно улучшать эксплуатационные характеристики материалов, широко используемых в промышленности.

Впервые на поверхности полупроводниковых пластин синтезированы под воздействием компрессионных плазменных потоков объемные субмикронные и наноразмерные поверхностные структуры и образования, наноструктурированные металлические, диэлектрические и металл-углеродные покрытия и тонкие пленки.

Полученные многокомпонентные кремний-металлические объемные структуры на полупроводниковых пластинах открывают принципиально новые подходы к разработке элементной базы следующего поколения для микро- и оптоэлектроники (интегральные микросхемы, элементы памяти, устройств обработки и отображения информации и др.) [8].

Таким образом, проведенные исследования, основывающиеся на уникальных свойствах компрессионных плазменных потоков, генерируемых работающими в режиме ионного токопереноса квазистационарными плазменными ускорителями, в которых реализуется ионно-дрейфовое ускорение токонесущей замагниченной плазмы, позволили установить основные физические факторы, обеспечивающие эффективную модификацию поверхностных свойств различных материалов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Дороднов, А.М. О физических принципах и типах вакуумных технологических плазменных устройств / А.М. Дороднов, В.А. Петросов // Журнал технической физики. – 1981.
2. Юрьев, О.Б. Ионно-плазменное напыление: опыт западноевропейских фирм / О.Б. Юрьев. – Машиностроитель, 1987. – № 1.

3. Ройх, И.Л. Нанесение защитных покрытий в вакууме / И.Л. Ройх, Л.Н. Колтунова, С.Н. Федосов. – М.: Машиностроение, 1976.

4. Костржицкий, А.И. Справочник оператора установок по нанесению покрытий в вакууме / А.И. Костржицкий, В.Ф. Карпов, М.П. Кабанченко, О.Н. Соловьёва // М.: Машиностроение, 1991.

5. Astashynski, V.M. Materials surface modification using quasi-stationary plasma accelerators / V.M. Astashynski, S.I. Ananin, V.V. Askerko, E.A. Kostyukevich, A.M. Kuzmitski, V.V. Uglov, V.M. Anishchik, V.V. Astashynski, N.T. Kvasov, L.A. Danilyuk // Surface and Coating Technology. – 2004. – Vol. 180-181C. – P. 392-395.

6. Astashynski, V.M. Modification of coating-substrate systems under the action of compression plasma flow / V.M. Astashynski, I.G. Gimro, A.M. Kuzmitski, E.A. Kostyukevich, A.V. Kovyazo, A.A. Mishchuk, V.V. Uglov, V.M. Anishchik, N.N. Cherenda, E.K. Stalmashonak // Problems of Atomic Science and Technology. Series: Plasma Physics (11). 2005, № 2. – P. 217–219.

7. Astashynski, V.M. Comprehensive modification of semiconductors and metals providing new structural features of surface layers subjected to compression plasma flows / V.M. Astashynski, S.I. Ananin, E.A. Kostyukevich, A.M. Kuzmitski, V.V. Uglov, V.M. Anishchik, N.N. Cherenda, A.K. Stalmashonak, Yu. V. Sveshnikov, N.T. Kvasov, A.L. Danilyuk and A.V. Punko. // High Temperature Material Processes. – 2007. – V. 11, № 4. – P. 536–548.

8. Astashynski, V.M. Deposition of nanostructured metal coatings on modified silicon surfaces in magnetoplasma compressor / V.M. Astashynski, S.I. Ananin, V.V. Askerko, E.A. Kostyukevich, A.M. Kuzmitski, V.V. Uglov, N.N. Cherenda, V.M. Anishchik, Y.V. Sveshnikov, V.V. Astashynski, N.T. Kvasov, A.L. Danilyuk, A.V. Punko, Y. Pauleau // Vacuum. – 2005. V. 78, issue 2–4. – P. 157–160.