

рые влияют на процесс осаждения покрытий. Параметры разряда, такие как рабочее давление, мощность разряда, конфигурация магнитного поля (сбалансированный или несбалансированный магнетроны) и способ питания (постоянным током, высокочастотное питание и др.) влияют на распределение потенциала, следовательно, и на энергию частиц.

ЛИТЕРАТУРА

1. Hofer W.O. Ion-induced electron emission from solids. / W.O. Hofer. – Scan. Microsc. suppl., 1990. – P. 265–310.
2. Waits R.K. Planar magnetron sputtering. / R.K. Waits. – Vac. Sci. Technol., 2002. – № 2. – P. 179–187.

УДК 621.793.1:539.234

Михайлов Д. А., Клименок М. Ю.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВАКУУМНОЙ ТЕХНИКИ В СОВРЕМЕННОЙ НАУКЕ

БНТУ, г. Минск

Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук, доцент Босяков М. Н.

Современные научные исследования зачастую связаны с использованием оборудования сверхбольших габаритов, длиной в несколько километров или весом в несколько миллионов тонн. Такое оборудование имеет множество затруднений при эксплуатации, одно из которых создание необходимых условий для эксперимента или исследования.

Например, гравитационная обсерватория LIGO (англ. Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory) – лазерно-интерферометрическая гравитационно-волновая обсерватория, конструкция которой представляет собой два взаимно-перпендикулярных туннеля, длиной в 4 километра и диаметром в 1,24 метра каждая. Для создания нужной среды, чтобы минимизировать все звуковые и физические помехи, требуется создать в туннелях сверхвысокий вакуум, и поддерживать

его длительное время. Откачиваемый объём очень велик – около 10 000 м³, но благодаря Рональду Деверу из Калифорнийского технологического института и Райнеру Вайссому из Массачусетского технологического института, которые построили сложную вакуумную систему, состоящую из механических форвакуумных насосов, турбомолекулярных насосов, криоловущек и ионных насосов, это стало возможным. Всего достижение рабочего вакуума с промежуточным отжигом в LIGO занимает 40 суток. Благодаря чему гравитационный детектор LIGO зафиксировал следы слияния необычной пары черных дыр. Это открытие указало на возможность объединения черных дыр в пары через долгое время после их формирования и подтвердило теорию относительности Эйнштейна.

Другой пример – существующие экспериментальные термоядерные установки производят небольшое количество тепловой энергии за счет синтеза. Но ИТЭР (ITER, International Thermonuclear Experimental Reactor) – первый в мире экспериментальный термоядерный реактор, будет производить тепло на уровне промышленной электростанции, и способствовать решению многих ключевых технических проблем, возникающих при использовании термоядерного синтеза в качестве практического источника энергии. Одной из основных систем функционирования ИТЭР является вакуумная система, которая на сегодня считается сложнейшей вакуумной системой в мире. Гигантские криосорбционные и криоконденсационные помпы, 10 километров вакуумопроводов, система поиска утечек среди тысяч труб, 10300 м³ объема сверхвысокого вакуума, более 400 вакуумных насосов. Из-за такой сложной системы, обслуживание и ремонт реактора затруднён, поэтому для упрощения эксплуатации, было принято поделить систему на блоки: система откачки тора (вакуумной камеры); система откачки инжекторов нейтрального луча (NBI); вакуумная система криостата; форвакуумная система; сервисный вакуум для диагностик (например рентгеновских или масс-

спектрометрических); системы откачки для ECRH; система локализации утечек. Самыми необычными элементом вакуумной системы является связка криопомп. Работа ИТЭР строится на постоянном обороте вещества через реактор – каждые 80...100 секунд плазменный объем полностью обновляется. При этом успевают прореагировать только 2% трития и дейтерия – остальное вместе с наработавшимся гелием и загрязнениями уходит в криосорбционные насосы, где газы поглощаются специальными панелями, покрытыми активированным углем из кокоса (который был выбран из 450 возможных сорбентов), охлаждаемым до 4,5К текущим внутри гелием. Поскольку объем газов, которые можно запихнуть в кокос, не беспредельны, помпа получается периодического действия – подключаясь к объему, сначала она адсорбирует на себе определенный объем дейтерия, трития и гелия, затем закрывается пневмоприводом, прогревается до 475К (200 С) и выделяющиеся газы откачиваются вторым набором форвакуумных помп – тех самых криоконденсационных. После чего помпа вновь захлаживается до 4,5 К.

Один из важнейших и популярных примеров, является большой адронный коллайдер сокращённо БАК (англ. Large Hadron Collider, сокращённо LHC) – ускоритель заряженных частиц на встречных пучках, предназначенный для разгона протонов и тяжёлых ионов (ионов свинца) и изучения продуктов их соударений. Для регистрации продуктов столкновения частиц, необходима вакуумная среда, что осложняется тем, что рабочая длина тунеля составляет 26973 метра. Проблема была устранена с помощью огромного количества (около 1200) форвакуумных, криосорбционных и криогенных насосов, и сегментированным строением тунеля (около 1700 сегментов), что облечает эксплуатацию и ремонт. Предельный вакуум, которого можно достичь на установке $\sim 10^{-7}$ Па, что является одним из двух самых больших разрежений в мире, благодаря чему в процессе работы было объявлено об открытии новой частицы. Вакуумные технологии

зачастую используются в научных исследованиях, для создания необходимых условий при проведении эксперимента, или для изучения свойств объектов в интересующей среде.

УДК 621.52

Опиок А. А.

ВАКУУМНЫЕ СИСТЕМЫ УСТАНОВОК ИОННОГО АЗОТИРОВАНИЯ

БНТУ, г. Минск

Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук, доцент Босяков М. Н.

К вакуумной системе установки ионного азотирования предъявляется ряд требований, выполнение которых обеспечивает возможность проведения данного технологического процесса при давлении 80 – 500 Па:

– вакуумная система должна обеспечить получение требуемого давления в откачиваемом объеме, при этом предварительное давление составляет 30 – 40 Па. Для удовлетворения этого требования вакуумная система должна быть герметичной и снабжена соответствующими средствами откачки, измерения давления, коммутирующими и разъемными элементами.

– вакуумная система должна обеспечить возможность получения требуемой быстроты откачки объема. Для этого вакуумная система должна иметь определенную проводимость, а применяемый вакуумный насос должен обладать необходимой быстротой действия.

– при применении автоматических систем управления технологическими процессами вакуумная система должна быть оснащена набором различных датчиков, осуществляющих передачу информации на управляющую ЭВМ.

– технологический процесс ионного азотирования, осуществляемый на вакуумных установках, часто длится многие десятки часов, поэтому вакуумная система должна быть высо-