

вратно-поступательное движение. Медленно вращая винты добиваемся легкого контакта между винтами и колеблющимся элементом. В момент касания поочередно с одной и другой стороны загораются лампочки 3. Оттарировав предварительно данное устройство величину амплитуды определяют по показаниям микрометрических винтов, цена деления которых составляет 0,01 мм.

Устройство позволяет также устанавливать необходимую амплитуду, ограничив ее величину микрометрическими винтами. Амплитуду в этом случае медленно изменяют до тех пор, пока не произойдет легкий контакт, о чем сообщат лампочки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Коновалов, Е.Г. Осциллирующее точение / Е.Г. Коновалов, А.В. Борисенко. – Минск: Из-во Академии наук БССР, 1960. – 32 с.

2. Ящерицын, П.И. Планирование эксперимента в машиностроении: справ. пособие / П.И. Ящерицын, Е.И. Махаринский. – Минск: Выш. шк., 1985. – 286 с.

УДК 621.5

Тарибо Д.Г.

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ИОННОГО ИСТОЧНИКА С ЗАКРЫТЫМ ДРЕЙФОМ ЭЛЕКТРОНОВ

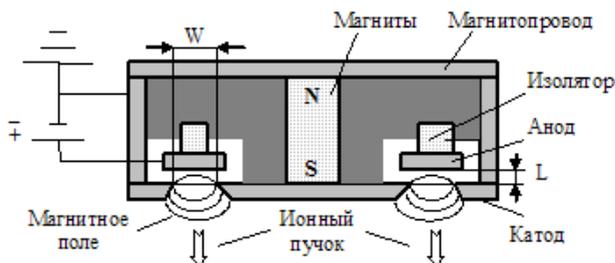
БНТУ, г. Минск

Научный руководитель: Бабук В.В.

Ионные источники с закрытым (замкнутым) дрейфом электронов предназначены для финишной очистки подложек перед нанесением покрытий и ионного ассистирования процесса нанесения покрытий. С их помощью также можно наносить покрытия методом химического газофазного осаждения. Потребность в таких источниках проявляется во многих технологиях ионной обработки материалов. Зна-

начально эти устройства были разработаны в качестве двигателей для космических аппаратов, но оказались востребованными и в технологиях модификации, т.к. формируемые ими ионные пучки являются эффективным инструментом воздействия на материалы.

Ионные источники с замкнутым дрейфом электронов можно разделить на две основные группы. Первая, это ионные источники с протяженной зоной ускорения, называемые также стационарными плазменными ускорителями или ускорителями с магнитным слоем. Ко второй группе относятся ионные источники с анодным слоем. В вакуумных технологиях применяются почти исключительно ионные источники с анодным слоем. Конструкция ионного источни-



ка приведена на рисунке 1.

Рисунок 1 – Ионный источник с закрытым дрейфом электронов

Источник имеет магнитную систему из постоянных магнитов, которая создает магнитное поле между внутренним и внешним полюсами магнитопровода. После подачи положительного потенциала на анод между ним и катодом загорается электрический разряд со скрещенными аксиальным электрическим и радиальным магнитным полями. В этом случае электроны дрейфуют в азимутальном направлении по замкнутым траекториям, многократно ионизируя атомы рабочего газа и постепенно диффундируя к аноду. Образовавшиеся ионы ускоряются сильным электрическим полем, создающимся за счет пространственного заряда электронов, и по-

кидают ионный источник через щель ускоряющего канала. Конструктивными особенностями ионного источника с анодным слоем являются проводящие стенки ускоряющего канала, и длина этого канала, меньшая, чем его ширина. В данном ионном источнике не существует процесса, ограничивающего температуру электронов. Поэтому происходит ее увеличение при движении электронов к аноду. Это увеличение температуры приводит к резкому повышению потенциала в области анода. Тонкий слой у анода, в котором происходит образование и ускорение ионов, стал основой названия данного типа ионного источника.

Известно, что однородность параметров ионного пучка улучшается при напуске газа не в камеру, а в газораспределительную магистраль, находящуюся внутри ионного источника, что также дает возможность работать на более низких давлениях и тем самым уменьшить количество газовых включений в пленке. При выборе ширины ускоряющего канала W (рисунок 1) необходимо учитывать, что чем больше эта величина, тем шире будет проекция ионного пучка на подложке. При $W = 2; 4; \text{ и } 6$ мм угол расхождения пучка ионов равняется $\pm 6\%$, $\pm 12\%$ и $\pm 15\%$, соответственно. Более широкие пучки имеют меньшую плотность ионного тока при таком же рабочем напряжении и давлении. Для того чтобы избежать распыления стенок ускоряющего канала ионами необходима оптимальная конфигурация магнитного поля в ускоряющем промежутке, достаточное охлаждение источника и правильная юстировка электромагнитной оптики. На рисунке 2 показаны две возможные конструкции электродной системы ионного источника: неправильная (а) и правильная (б).

В неправильной конструкции, только ионы, образовавшиеся около щели в катоде, могут участвовать в формировании пучка, а остальные ионы направляются к катоду и распыляют его. В правильной конструкции область с высокой концентрацией электронов смещена внутрь ускоряю-

щего канала. Ионы, образовавшиеся в этой области, практически не участвуют в распылении катода, поскольку движутся в направлении от него. Поэтому расстояние L от анода до ближайшего края катода должно быть много меньше ширины W ускоряющего канала, $L \ll W$. Кроме того, ток ионного пучка увеличивается за счет повышения эффективности ионизации в ускоряющем канале и снижения доли ионов, идущих на стенки этого канала. Анод должен быть выполнен с прямоугольной или клиновидной полостью в силу того, что при этом лучше обеспечивается перпендикулярность скрещенных электрического и магнитного полей.

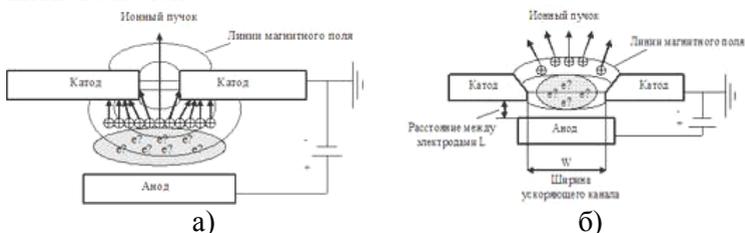


Рисунок 2 – Конструкции электродной системы ионного источника

Известно, что ионный источник с анодным слоем имеет два режима работы: высоковольтный (с коллимированным пучком) и низковольтный (с рассеянным пучком). Режим с коллимированным пучком (основной режим) существует при низких давлениях рабочего газа. В этом режиме разрядный ток увеличивается с увеличением разрядного напряжения. Повышая рабочее давление можно переключить ионный источник в режим с рассеянным пучком и много большим разрядным током, получаемым при почти постоянном напряжении. Это объясняется тем, что в режиме с коллимированным пучком в ускоряющем канале циркулирует Холловский ток и объемный заряд электронов не скомпенсирован ионами, которые быстро уносятся от анода сильным электрическим полем.

Поскольку Холловский ток увеличивается с повышением разрядного напряжения, то это приводит к увеличению чис-

ла ионизирующих столкновений и росту разрядного тока. При повышении давления в ускоряющем канале генерация ионов происходит быстрее удаления их из области ионизации. В этом режиме (с рассеянным пучком) ионный ток не ограничен пространственным зарядом и может достигать значений в 10 раз бóльших чем в режиме с коллимированным пучком. Однако при этом теряется контроль таких параметров ионного пучка как энергия ионов и направленность.

К недостатку ионных источников с анодным слоем можно отнести отсутствие независимого контроля тока и энергии ионов. Повышая рабочее давление для увеличения ионного тока мы увеличиваем тем самым количество столкновений ионов с нейтральными атомами. Частые столкновения приводят к перезарядке энергетичных ионов и нейтральных атомов. Образовавшиеся низкоэнергетичные ионы теперь находятся далеко от анода и, поэтому, не могут ускориться до полного анодного потенциала. Это приводит к расширению энергетического спектра ионов. Считается, что средняя энергия ионов в ионном источнике с анодным слоем равняется примерно половине анодного напряжения. Характеристики ионного источника с анодным слоем дают возможность использовать его во многих технологических операциях, таких как очистка и активация поверхностей подложек, ионное ассистирование PVD процессам и даже применяться непосредственно для нанесения покрытий.

УДК 621.5

Тихонович Ю.А.

ПРИМЕНЕНИЕ ИСТОЧНИКОВ ИОНОВ С ХОЛОДНЫМ КАТОДОМ

БНТУ, г. Минск

Научный руководитель: Бабук В.В.

Ионно-лучевая обработка материалов осуществляется пучком ускоренных заряженных частиц, сформированных в автономных источниках ионов. Рабочее вещество подается в автономный источник ионов, в котором происходит его