

ЭЛЕКТРОДНАЯ СТРУКТУРА ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ НИЗКОЭНЕРГЕТИЧНЫХ ПУЧКОВ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ

П. Н. Солдатенко

*Учреждение образования «Полоцкий государственный университет»,
г. Новополоцк, Республика Беларусь*

Научный руководитель В. Г. Залесский

Ионные источники широко применяются для нанесения тонкопленочных слоев металлов, полупроводников и диэлектриков. Одним из методов увеличения эффективности таких источников является использование сильноточных эмиттеров электронов для поддержания процессов ионизации и обеспечения устойчивого горения разряда, компенсации как объемного заряда в пучке, так и поверхностного на формируемой пленке. В настоящее время для этих целей используются твердотельные накаливаемые эмиттеры [1]. Однако в условиях интенсивных ионных потоков ресурс таких эмиттеров ограничен вследствие интенсивной ионной бомбардировки. Поэтому поиск безнакальных компенсационных эмиттеров электронов достаточно актуален.

В системах с плазменным эмиттером получение низкоэнергетических компенсирующих электронных пучков возможно либо вследствие рекуперации энергии, либо за счет создания оптимальных условий для формирования таких пучков непосредственно в источнике. При формировании электронных пучков требуемой геометрии в системах с плазменным эмиттером определяющими являются положение и форма эмиттирующей плазменной поверхности. Они, в свою очередь, обусловлены параметрами плазмы, характеристиками системы формирования пучка (потенциал и геометрия формирующих электродов) и величиной приведенной напряженности поля, ускоряющего электроны. Последнее определяет энергию электронов в пучке.

Поскольку условия формирования ионных пучков в известных системах магнетронного типа близки, в первую очередь, по давлению, к условиям формирования электронных пучков в системах с плазменным эмиттером, то возможно создание комбинированных источников, обеспечивающих формирование как электронных, так и ионных пучков. Такие системы могут формировать скомпенсированные ионные пучки, пучки нейтральных атомов, или обеспечивать попеременное или одновременное воздействия пучками обоих типов заряженных частиц, и, значит, представляют уникальный универсальный инструмент для нанесения пленочных покрытий различного назначения.

Были сформулированы три возможных и принципиально отличающихся способа реализации компенсации заряда пучком распыляющих ионов распыляемой поверхности электронами. Первый заключается в том, что распыляемая мишень облучается одновременно ионным и электронным пучками, генерируемыми независимыми источниками ионов и электронов, использующими независимые системы электропитания и управления. В известных случаях реализации такого способа ионный пучок генерируется системой с плазменным эмиттером ионов на основе газового разряда, а электронный пучок генерируется системой на основе термоэмиссии (с термокатодом) [1].

Второй способ заключается в поочередно-периодическом воздействии на распыляемую мишень ионного и электронного пучков. Этот способ основан на использовании способности плазменного эмиттера эмитировать как ионы, так и электроны в зависимости от полярности ускоряющего заряда напряжения. При этом частота переменного ускоряющего напряжения в электронно-ионной оптической системе с плазменным эмиттером определяется, в основном, как показали известные примеры использования этого способа [1], [2], временем формирования условий на мишени для образования микродуг, и в зависимости от распыляемого материала обычно должна быть в диапазоне от единицы до десятков килогерц. Таким образом, второй способ может быть реализован на основе единой ионно-электронной оптической структуры [3].

Третий возможный, но практически неисследованный способ заключается в том, что он частично объединяет упомянутые первые два способа, но исключает применение электронно-оптической системы с термокатодом и обеспечивает непрерывное воздействие ионного и электронного пучков, поступающих на распыляемую мишень через единое пространство дрейфа ускоренных зарядов.

На рис. 1 показана схема электродов для формирования последовательно (вдоль оси) двух плазменных эмиттеров: электронного и ионного. Плазма, через часть поверхности которой осуществляется отбор (эмиссия) электронов, формируется в объеме, ограниченном внутренними поверхностями стержневого катода 1, цилиндрического катода 5, вспомогательного анода 3 и основного анода 7. Указанные электроды разделены изоляторами 2, 4 и 6. Катоды 1 и 5 являются наконечниками постоянного магнита, создающего между ними магнитное поле, которое способствует осцилляции вторичных γ -электронов с катодов в пространство формирования плазмы. Электроды 7 и 9 образуют промежуток ускорения электронов, где формируется поверхность плазмы, эмитирующая электроны. Изолятор 8 должен быть рассчитан на напряжение, на 50–100 В превышающее напряжение ускорения ионного пучка. Это напряжение по величине более 2–3 кВ использовать нецелесообразно, так как интенсивность распыления материалов ионами с дальнейшим его увеличением возрастает незначительно.

Электроды 9, 11, 13, 15 и 17 образуют газоразрядную структуру, формирующую плазму, являющуюся источником распыляющих ионов. Эта структура состоит из двух соединенных последовательно (вдоль оси) газоразрядных ячеек «пеннинговского» типа [1]. Элементы этой структуры 10, 12, 14 и 16 являются соответствующими изоляторами; элементы 11 и 15 являются анодами разрядных ячеек; элементы 9, 13 и 17 – катодами, которые одновременно являются полюсными наконечниками постоянных магнитов, обеспечивающих осцилляцию электронов между катодами этой (второй) газоразрядной структуры. Одновременно с этим магнитное поле, формируемое катодами 9, 13 и 17 образует некоторую магнитную фокусирующую систему для ускоренного электронного пучка, распространяющегося вдоль оси этой (второй) газоразрядной структуры до выхода из источника ионно-электронного пучка в технологическую камеру.

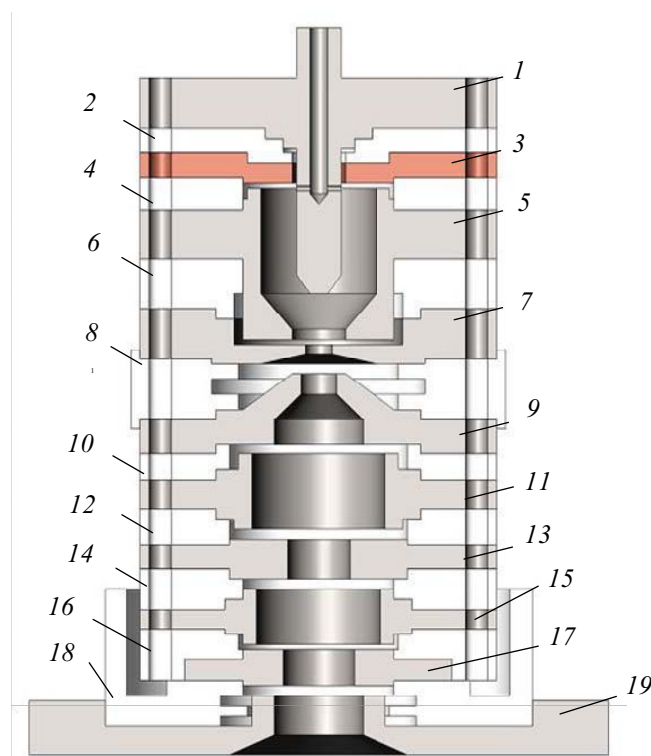


Рис. 1. Электродная структура для формирования последовательно (вдоль оси) двух плазменных эмиттеров: электронного и ионного:
 1 – стержневой катод; 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18 – изоляторы;
 3 – вспомогательный анод; 5 – цилиндрический катод; 7 – основной анод;
 9, 13, 17 – катоды; 11, 15 – аноды; 19 – ускоряющий электрод

Между электродами 17 и 19 прикладывается напряжение, ускоряющее ионы до требуемой технологией энергии распыляющих ионов. Одновременно в этом же промежутке между электродами 17 и 19 осуществляется торможение пучка электронов, ускоренных в промежутке между электродами 7 и 9. Эмитирующая ионы поверхность плазмы, формирующаяся между электродами 17 и 19, определяет траектории как ионов, так и электронов в пространстве дрейфа электронно-ионного пучка до распыляемой мишени, а значит и определяет распределение плотностей ионного и электронного тока по поверхности мишени.

Напуск рабочего газа в ионно-электронный источник осуществляется через отверстия в катодe 1, а откачка газа из источника – через отверстие в электроде 19. Формирующийся поток газа создает во всей электродной структуре 1–19 источника определенное распределение давления газа, зависящее как от потока напускаемого газа, так и отдаваемое в технологической камере. Последнее определяет также длину дрейфа ионного пучка в технологической камере с приемлемой потерей энергии и импульса пучка ионов.

При давлении в технологической камере около 10^{-2} Па приемлемая длина дрейфа ионно-электронного пучка составляет около 0,1–0,2 м, что обычно достаточно и для технологических целей. Оценочные расчеты показали, что при таком давлении в технологической камере (10^{-2} Па) давление в верхней части второй газоразрядной структуры достигает величины около 10^{-1} Па. Предполагается, что при таком давлении во второй газоразрядной структуре необходимые параметры электронного пучка из первой газоразрядной структуры (электроды 1–8) будут определяться не

только условиями заряда мишени ионным пучком источника, но и условиями инициирования разряда во второй разрядной камере и достижения в ней необходимых параметров плазмы.

Разработанная структура позволяет предполагать возможность создания новых конструкций источников с плазменным эмиттером для получения низкоэнергетичных электронных пучков и электронно-ионных пучков. Применение таких источников, во-первых, обеспечит повышение эффективности ионно-плазменного нанесения покрытий различного назначения и увеличение качества наносимых покрытий, во-вторых, откроет возможности электронно-лучевого ассистирования модификации поверхности материалов ионными пучками и получения покрытий с новыми свойствами.

Литература

1. Плазменные эмиссионные системы с ненакаливаемыми катодами для ионно-плазменных технологий / В. Т. Барченко [и др.] ; под общ. ред. В. Т. Барченко. – СПб. : Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2011. – 220 с.
2. Технологические процессы и системы в микроэлектронике: плазменные, электронно-ионно-лучевые, ультразвуковые / А. П. Достанко [и др.] ; под ред. А. П. Достанко // Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники. – Минск : Бестпринт, 2009. – 199 с.
3. Антонович, Д. А. Электронно-ионный источник для реализации комбинированного воздействия на поверхность / Д. А. Антонович, В. А. Груздев, В. Г. Залесский // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. С, Фундам. науки. – 2014. – № 4. – С. 113–118.