

ОСОБЕННОСТИ ВВОДА ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ ЭНЕРГИИ В ПОТОК МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ПЛАЗМЫ

В.М. Береснев, О.М. Швец*, Т.Н. Беляева

**Институт физики плазмы ННЦ "ХФТИ" (Харьков)*

Украина

Научный физико-технологический центр МОН и НАН Украины (Харьков)

Поступила в редакцию 23.02.2005

В статье представлены экспериментальные результаты исследований влияния ударного импульсного ВЧ генератора на формирование потоков металлической плазмы в стационарном дуговом разряде. Исследованы особенности осаждения покрытий в импульсных переменных электрических полях.

ВВЕДЕНИЕ

Усовершенствование технологии нанесения покрытий из потоков металлической плазмы путем использования ВЧ смещения, подаваемого на подложку, открывает новые возможности в технологии нанесения покрытий [1]. Способ ввода ВЧ энергии в плазму играет определяющую роль в формировании ее физических и химических параметров [2, 3], из которых наиболее эффективны резонансные, обеспечивающие поглощение энергии частицами плазмы, однако достаточным для решения технологических задач может быть и нерезонансное поглощение энергии при отсутствии магнитного поля. Целью данной работы является экспериментальное исследование влияния способа ввода ВЧ энергии в металлическую плазму, генерируемой вакуумной дугой.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Эксперименты проводились на модернизированной установке "БУЛАТ", ВЧ напряжение от импульсного ВЧ генератора подавали на подложку. Испаряемым материалом служил титан марки ВТ-1-00, реакционным газом являлся газообразный азот. Покрытия осаждали на полированные и термообработанные образцы из стали Р6М5.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Применение ВЧ энергии в методе вакуумно-дугового осаждения покрытий позволяют получить покрытия на основе TiN, AlN, Al₂O₃ [4, 5] с более высокими параметрами. Повы-

шение параметров покрытий, получаемых из потоков металлической плазмы тугоплавких металлов, а именно, хорошая адгезия, стехиометрический состав, уменьшение капельной фазы, возможно еще и путем оптимизации уровня стационарной ВЧ мощности или использование импульсного ВЧ генератора.

Импульсный источник ВЧ энергии работал с использованием принципа ударного возбуждения ВЧ контура путем преобразования энергии, накопленной в конденсаторах, в другие формы – затухающие синусоидальные или прямоугольные колебания. ВЧ генераторы этого типа на частоты до 1 МГц могут генерировать импульс большой мощности, а также обладают возможностью регулировать частоту повторения от единиц Гц до 2 кГц. ВЧ генератор с двумя связанными контурами позволяет генерировать более высокие частоты (≥ 10 МГц). Такие генераторы легко согласовываются с высокоомными и низкоомными нагрузками, а их импульсная мощность может достигать десятков киловатт.

Ударный ВЧ генератор при подключении его на подложку установки "БУЛАТ" (см. рис. 1) работал при таких параметрах: добротность ВЧ контура без нагрузки $Q > 20$; разогрев разрядника при непрерывной работе в течении 8 часов не более 150° С (т.е. не требуется дополнительное охлаждение); повторяемость срабатывания не хуже 0,1 кВ при работе с напряжением 5 ÷ 7 кВ, емкость колебательного контура $C_0 = 60 \cdot 10^3$ пФ, индуктивность $L_0 = 4,0$ мкГн, рабочая частота $f_0 = 300$ кГц, разрядник работал при частоте 2 кГц.

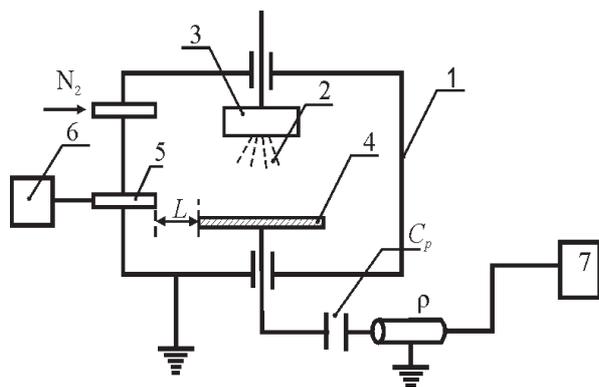


Рис.1. Схема подключения ВЧ генератора на установку типа "Булаг". 1 – вакуумная камера, 2 – плазма, 3 – титановый катод, 4 – подложка, 5 – двойной ленточный зонд, 6 – измерительная схема, 7 – импульсный ВЧ генератор, C_p – разделительная емкость.

Высокочастотные импульсы через радиочастотный кабель с волновым сопротивлением $s = 50$ Ом подавались на подложку. В случае подключения ударного ВЧ генератора через разделительную емкость $C_p \sim 10^3$ пФ на нагрузку появляется постоянная составляющая детектированного плазмой ВЧ напряжения [3]. Это обеспечивает бомбардировку подложки ионами металлической плазмы, что соответствует ионной бомбардировке при применении дуговых источников плазмы.

Плазму создавали при давлении рабочего газа (азота) в вакуумной камере $0,1 \div 10$ Па при помощи дугового источника. В плазму вводили импульсную мощность 12,5 кВт, средняя мощность при этом была равна 1,0 кВт (рис. 2а). При включении нагрузки через разделительную емкость C_p , ВЧ напряжение на подложке детектировалось и снижалось в интервале между импульсами от 2,0 кВт до 300 В (рис. 2б).

Полученные экспериментальные результаты позволили предложить новую структур-

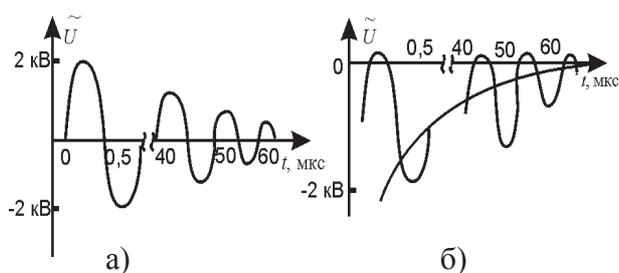


Рис. 2. а) – напряжение на подложке при работе ВЧ генератора без разделительной емкости C_p . б) – напряжение на подложке при работе ВЧ генератора с разделительной емкостью C_p .

но-технологическую схему осаждения покрытий из потоков металлической плазмы с использованием импульсного ВЧ генератора. Затухающие ВЧ колебания в течение одного импульса создают условия для очистки обрабатываемой поверхности за счет бомбардировки ионами металлической плазмы в начале импульса, а затем их осаждение на поверхность в течение импульса за счет изменения величины спадающего напряжения.

Таким образом, в течение одного импульса автоматически появляются условия для нанесения покрытий независимо от характеристик работы установки (парциального давления рабочего газа, режима работы электродуговых источников плазмы). Выбор амплитуды ВЧ напряжения определяет величину энергии, приобретаемой ионами металлической плазмы. В начале импульса энергия ионов превышает оптимальную энергию ионов, которые формируют покрытия, и, тем самым, обеспечивают очистку поверхности от слоя, который образовывается при неоптимальном осаждении. Т.е., в течении каждого импульса совмещаются две основные операции нанесения покрытий (очистка и осаждение), которые ранее выполнялись отдельно в установках вакуумно-дугового осаждения.

За счет высокого уровня ВЧ энергии активизируется процесс взаимодействия атомов металла и реакционного газа (происходит увеличение степени ионизации частиц молекулярного азота). Рентгенографические исследования фазового состава полученных покрытий TiN показали соответствие высокоазотистой области гомогенности нитрида титана содержанию азота до 50 ат. %, при этом в составе покрытий не обнаружено капельной фазы титана. Содержание азота в покрытиях определяли по ядерной реакции $^{15}\text{N}\{\rho, \alpha, \gamma\}^{12}\text{C}$ на электростатическом ускорителе с энергетическим разрешением $E = 300$ кэВ для протонов с энергией 992 кэВ [7]. На рис.3 представлена зависимость содержания азота N_N в покрытии от давления газа в вакуумной камере. Из рисунка видно, что применение ВЧ напряжения изменяет степень ионизации потока металлической плазмы, легирующего газа (диссоциация азота), что позволяет формировать покрытия стехиометрического состава.

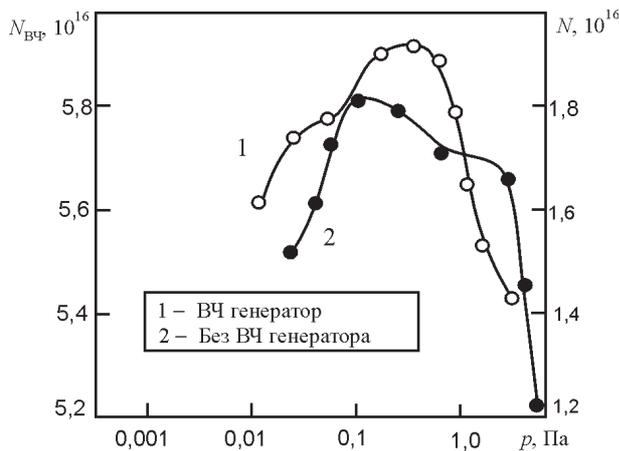


Рис.3. Зависимость числа атомов азота в покрытии TiN от парциального давления азота.

ВЫВОДЫ

1. Предложена модель осаждения покрытий при введении ВЧ энергии в металлическую плазму. Показано, что при работе со спадающим напряжением в течение каждого импульса совмещаются две операции: очистка и осаждение. Это позволяет оптимизировать процесс формирования покрытий, а также повысить их качество.
2. Разработан ВЧ генератор, в основу которого заложена схема ударного контура, которая позволяет создавать мощность в импульсе 12,5 кВт. При этом средняя мощность на обрабатываемом изделии достигает 1,0 кВт.
3. Введение ВЧ энергии изменяет степень ионизации металлической плазмы, легирующего азота, что оказывает существенное влияние на протекание плазмохимической реакции, а значит – на состав и структуру получаемых покрытий.

ОСОБЛИВОСТІ ВВЕДЕННЯ ВИСОКОЧАСТОТНОЇ ЕНЕРГІЇ В ПОТІК МЕТАЛЕВОЇ ПЛАЗМИ.

В. Береснев, О. Швець, Т. Беляєва

У статті наведені експериментальні результати досліджень впливу ударного імпульсного ВЧ генератора на формування потоків металевої плазми в стаціонарному дуговому розряді. Досліджено особливості осадження покриттів у імпульсних змінних електричних полях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Устройство для нанесения покрытий в вакууме: А.с. 1757249 СССР, МКИ С23 С14/00./ В.Т. Толлок, О.М. Швець, В.Ф. Лымарь, В.М. Береснев, В.И. Гриценко, М.Г. Кривонос – №4824783/21. Заявлено 11.05.90.
2. Швець О.М., Овчинников С.С., Толлок В.Т., Тарасенко В.Ф., Павлюченко О.С. Высоко-частотный метод создания плотной плазмы в металлической камере. (Преп./ФТИ АН УССР: №083/P-035) – Харьков. – 1964. – 9 с.
3. Швець О.М., Толлок В.Т., Овчинников С.С., Тарасенко В.Ф. и др. Ввод ВЧ энергии в плазму, находящуюся в металлической камере//Физика и проблемы управляемого термоядерного синтеза. – 1963.– Вып.3. – Киев. – С. 117-119.
4. Береснев В.М., Толлок В.Т., Гриценко В.И., Демьяненко Ю.В, Чунадра А.Г. Получение соединения AlN, Al₂O₃ из потоков плазмы вакуумной дуги с использованием ВЧ напряжения. // Вестник ХНУ, серия „Ядра, частицы, поля.” – 2003. – Вып. (22), № 601. – С. 101-105.
5. Гриценко В.И., Береснев В.М., Швець О.М. Использование ВЧ разряда в методе вакуумно-дугового осаждения покрытий // Физическая инженерия поверхности. – 2003. – Т. 1, № 1. – С.37-44.
6. Козлов О.В. Электрический зонд в плазме.– М.: Атомиздат, 1969. – С. 257-260.
7. Антуфьев Ю.П., Аксенов И.И., Брень В.Г. Определение концентрации азота в тонкопленочных покрытиях с помощью ядерной реакции ¹⁵N{ρ, α, γ}¹²C//Вопросы атомной науки и техники (серия «Общая и ядерная физика»). – 1979. – Вып. 2(8). – Харьков: ХФТИ. – С. 37-39.

FEATURES OF HIGH-FREQUENCY ENERGY INPUT IN A FLOW OF METAL PLASMA

V. Beresnev, O. Shvets, T. Belayeva

The given article represents experimental results of researches HF generator at introduction of HF energy to a flow of metal plasma. The pattern precipitate of covers with the help shock pulse HF generator is offered.