



ÚŘAD PRO VYNÁLEZY
A OBJEVY

POPIS VYNÁLEZU

258003

K AUTORSKÉMU OSVĚDČENÍ

(11) B₁

(61)

(23) Výstavní priorita
(22) Přihlášeno 18 05 81
(21) PV 3663-81
(32)(31)(33) 13 11 80. (3003866/18-25) SU
(89) 961489, SU

(51) Int. Cl.³

H 01 J 27/04

(40) Zveřejněno 17 09 87
(45) Vydáno 30.08.88

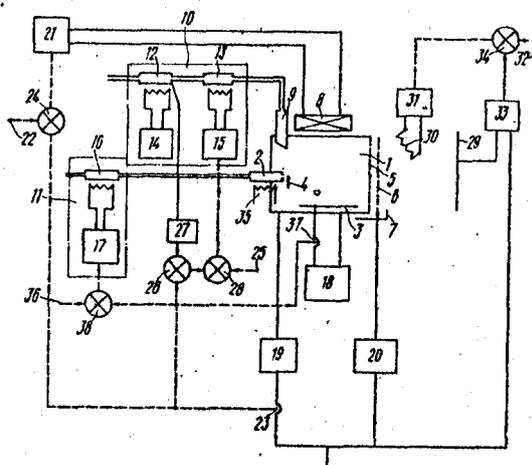
(75)
Autor vynálezu

BUCHOV VLADIMIR ALEXEJEVIČ,
PERCEV ANATOLIJ APANASJEVIČ,
GRIGORJAN VLADIMIR GRANTOVIČ,
MINAKOV VALERIJ IVANOVIČ, MOSKVA,
IZMAJLOV AVIL ALEXEJEVIČ, MYTIŠČI (SU)

(54)

Zařízení k vytváření ionizačních paprsků

Zařízení patří do oblasti techniky vytváření intenzivních svazků ionů, určených k provádění technologických operací, vytváření tahu a injekce plazmy do magnetické pasti. Cílem zařízení - rozšíření rozsahu regulace toku ionového svazku. Ionové záření obsahuje jiskřiště jako zdroj ionů, zahrnující dutou katodu, anodu, kolektor vstupu pracovního plynu, elektromagnet, stínění, urychlovací a zpomalovací elektrody, systém přívodu pracovního plynu, zahrnující zařízení přívodu pracovního plynu do duté katody a do kolektoru zdroje ionů, systém elektronapájení zdroje ionů, systém regulace toku ionů, zahrnující ovladač, snímač toku ionů a zařízení, vyrábějící ovládací vlivy. Novým je to, že zařízení, vyrábějící ovládací vlivy je spojeno se zdrojem napájení elektromagnetu a do zařízení přívodu pracovního plynu do duté katody zdroje ionů je zaveden regulátor spotřeby a do zařízení je zaveden systém udržení vybíjecího napětí, zahrnující ovladač, snímač vybíjecího napětí a zařízení tvarující ovládací vlivy, spojení s regulátorem spotřeby plynu do katody.



ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ

Заявлено: 13.11.80

Заявка: № 3003866/18-25

МКИ²: H 01 J 27/04

Авторы: В.А.Обухов, А.А.Перцев, В.Г.Григорьян,
В.И.Минаков и А.А.Измайлов

Заявитель: Московский авиационный институт имени
Серго Орджоникидзе

Название изобретения: ИОННО-ЛУЧЕВАЯ УСТАНОВКА

Изобретение относится к области техники создания интенсифицированных ионных пучков, предназначенных для проведения технологических операций, создания тяги, инъекции плазмы в магнитные ловушки. Известны ионно-лучевые установки (ИЛУ), основанные на газоразрядных источниках ионов с полым катодом, включающие помимо источника системы электропитания, подачи рабочего тела и нейтрализации пучка ионов.

При работе таких ИЛУ необходимо или желательно поддержание следующих параметров установки:

1. Тока ионного пучка I_n (регулирование первого уровня).

2. Коэффициента использования рабочего газа β , определяемого как отношение тока ионного пучка к расходу газа в токовом эквиваленте: $\beta = \frac{I_n}{e/m \cdot m}$, где e/m - удельный заряд ионов, к/кг; m - расход газа, кг/с (регулирование второго уровня).

3. Поддержание заданного потенциала пучка (или мишени в случае ионно-лучевой обработки) E_M относительно стенок вакуумной камеры (регулирование третьего уровня).

4. Поддержание некоторых параметров режима работы источника, носящее специальный характер (например, поддержание напряжения разряда U_p из соображений ресурса или поддержание минимально возможного угла расходимости пучка на каждом из режимов работы ИЛУ по току).

Вид систем регулирования, решающих указанные задачи, зависит от физических особенностей источника ионов, рода рабочего тела, назначения ИЛУ и тому подобное. Определяющим при этом является выбор решения задачи регулирования первого уровня, решение задачи регулирования последующих уровней в значительной степени определяется указанным выбором. Параметры системы регулирования в значительной степени определяют важнейшие характеристики ИЛУ: энергетическую и газовую экономичность, диапазон регулирования.

Известна ИЛУ, содержащая газоразрядный источник ионов, системы электропитания, подачи рабочего газа и нейтрализации пучка ионов, предназначенная для использования в качестве ионного двигателя и работающая на ртути (I).

В известной ИЛУ имеется задатчик режимов, вырабатывающий сигналы, определяющие ток пучка ионов и разрядный ток. Получаемые с датчиков в цепях питания ионного тока и разряда сигналы, пропорциональные указанным токам, сравниваются с сигналами задатчиков в блоках сравнения устройств, вырабатывающих управляющие воздействия, изменяющие расход газа в коллектор и в полый катод источника. В качестве регуляторов расхода применяют тепловые пористые дроссели, установленные после испарителя ртути, так что в качестве управляемого параметра используют ток нагрева дросселя.

Такая система регулирования предусматривает точное знание оптимальных с точки зрения газовой и энергетической экономичности отношений тока разряда к току пучка ионов на всех режимах работы источника, что может иметь место только для конкретного, хорошо изученного источника. Недостатком ее является также инерционность, так как регуляторы расхода указанного типа имеют постоянную времени, определяемую тепловыми процессами, на уровне десят-

ков секунд. Кроме того, в данной ИЛУ напряжение разряда может меняться в широких пределах, выходя, в частности, за порог распыления материала элементов разрядной камеры (около 40 В).

Ближайшим техническим решением является ионно-лучевая установка, содержащая газоразрядный источник ионов, включающий полый катод, анод, коллектор ввода рабочего газа, электромагнит, экранный, ускоряющий и замедляющий электроды, систему подачи рабочего газа, включающую устройства подачи газа в полый катод и в коллектор источника, систему электропитания источника, состоящую из источников разрядного напряжения и источников питания экранного, ускоряющего электродов и электромагнита, а также систему регулирования ионного тока, включающую задатчик, датчик ионного тока и устройство, вырабатывающее управляющее воздействие (2).

В известной ИЛУ устройство, вырабатывающее управляющее воздействие, соединено с источником питания разряда. Для перевода ИЛУ с одного режима работы по ионному току на другой, сначала с помощью задатчика, задают сигнал, подаваемый на один из входов блока сравнения, на второй вход которого поступает сигнал с датчика ионного тока, установленного в цепи источника питания экранного электрода.

Упомянутое устройство вырабатывает управляющее воздействие, пропорциональное величине рассогласования указанных сигналов, которое изменяет величину разрядного напряжения, создаваемого источником питания разряда.

При прочих неизменных параметрах режима работы источника (величине магнитного поля, потенциалов на электродах, расхода) ток пучка будет изменяться вслед за изменением напряжения до тех пор, пока сигналы от задатчика и датчика ионного тока не сравняются. При постоянном расходе коэффициент использования рабочего газа β будет изменяться так же, как и ионный ток, то есть на режимах

с низким током β будет мал, что снижает газовую и энергетическую экономичность ИЛУ в среднем. Кроме того, диапазон изменения напряжения разряда U_p ограничен, с одной стороны - напряжением зажигания разряда, а с другой - пределом по распылению катода. При работе на ртути $20 \text{ В} < U_p < 40 \text{ В}$, при этом ток пучка может быть изменен примерно вдвое. В ряде случаев такой диапазон регулирования недостаточен.

Целью изобретения является расширение диапазона регулирования тока ионного пучка.

Эта цель достигается тем, что в известной ионно-лучевой установке, содержащей газоразрядный источник ионов, включающий полый катод, анод, коллектор ввода рабочего газа, электромагнит, экранный, ускоряющий и замедляющий электроды, систему подачи рабочего газа, включающую устройства подачи газа в полый катод и в коллектор источника, систему электропитания источника, состоящую из источника разрядного напряжения и источников питания экранного, ускоряющего электродов и электромагнита, а также систему регулирования ионного тока, включающую задатчик, датчик ионного тока и устройство, вырабатывающее управляющее воздействие, устройство, вырабатывающее управляющее воздействие соединено с источником питания электромагнита, в устройство подачи рабочего газа в полый катод источника введен регулятор расхода, а в установку введена система поддержания разряда, включающая задатчик, датчик напряжения разряда и устройство, формирующее управляющее воздействие, связанное с регулятором расхода.

Сущность изобретения поясняется чертежом, на котором изображена функциональная схема ИЛУ.

ИЛУ содержит газоразрядный источник 1, включающий полый катод 2, анод 3, электрод поджига 4, экранный 5, ускоряющий 6, замедляющий 7 электроды, а также установленный снаружи электромагнит 8, а внутри источника - кол-

лектор 9 для подачи рабочего газа. В ИЛУ входят, кроме того, система подачи рабочего газа, включающая устройство 10 для подачи газа в коллектор 9 и устройство 11 для подачи газа в полый катод 2. В устройстве 10 установлены датчик расхода 12 и регулятор расхода 13, а также источник их питания 14 и 15. В устройстве 11 установлены регулятор расхода 16 и источник его питания 17. Датчик расхода 12 выполнен, например, в виде нагреваемого пористого дросселя, капилляра или другим известным образом. Электропитание источника I осуществляется от системы, содержащей источник разрядного напряжения 18 и источники 19, 20, 21 питания соответственно экранного 5, ускоряющего 6 электродов и электромагнита 8. Замедляющий электрод 7 заземлен. Управление источником I ионов осуществляется тремя системами регулирования. Первая из них — система задания и поддержания ионного тока, включает датчик 22 тока ионного пучка, датчик 23 тока ионного пучка, установленный в цепи источника питания экранного электрода 5, а также устройство 24, вырабатывающее управляющее воздействие, связанное с источником 21 питания электромагнита. Электрод 5 может быть электрически связан с катодом 2, как это показано на чертеже, а может быть изолирован, и потенциал на нем может поддерживаться с помощью дополнительного (на чертеже не показан) источника.

Вторая система регулирования служит для поддержания коэффициента использования рабочего газа (КИГа) при переходе с режима на режим по ионному току. Она содержит датчик КИГа 25, блок 26 сравнения тока пучка и расхода газа через коллектор, преобразователь 27 (например, термометрического типа) сигнала с датчика 12 расхода газа и устройство 28, вырабатывающее управляющее воздействие, соединенное с источником 15 питания регулятора 13 расхода газа в коллектор.

Третья система регулирования служит для поддержания

потенциала мишени 29, обрабатываемой ионным пучком. Эта система содержит катод-компенсатор 30, источник 31 питания катода-компенсатора, задатчик 32 потенциала мишени, датчик 33 потенциала мишени и устройство 34, вырабатывающее управляющее воздействие, соединенное с источником 31 питания катода-компенсатора. Для стартового разогрева полого катода 2 используют нагреватель 35, питаемый от источника тока (на чертеже не показан).

Работа ИЛЖ осуществляется следующим образом.

В начальный момент времени в задатчике 22 тока пучка, задатчике 25 КИГа и задатчике 32 потенциала мишени заданы сигналы $I_{пз}$, β_3 , $E_{мз}$ требуемого уровня, включен стартовый разогрев полого катода 2, осуществляемого от нагревателя 35, а также включены все источники электропитания и подан рабочий газ в катод 2. После выхода полого катода 2 на номинальный температурный режим (зависящий от рода рабочего газа), подается рабочий газ (аргон, ксенон и тому подобное) в коллектор 9 и инициируется разряд с помощью электрода 4 поджига и цепи инициирования (на чертеже не показана). Ток в цепи нагревателя 35 катода может быть после этого снижен до некоторого ("дежурного") уровня. Датчик 23 ионного тока в цепи источника 19 питания экранного электрода 5 вырабатывает сигнал $I_{п}$, поступающий с устройства 24, вырабатывающее управляющее воздействие.

В зависимости от величины рассогласования сигналов $\Delta I_{п} = I_{пз} - I_{п}$, вырабатывается воздействие, изменяющее ток в цепи источника 21 питания магнита 8.

Как показали исследования, при изменении тока электромагнита от нуля до предельной величины $I_{м \text{ пред.}}$ ток пучка ионов изменяется примерно в 7 раз при прочих неизменных условиях. Зависимость $I_{п} = F(I_{м})$ близка к линейной при малых $I_{м}$ и постепенно выходит на насыщение. Величина $I_{м \text{ пред.}}$ соответствует насыщению по ионному

току. Наличие описанной системы регулирования позволяет осуществлять регулирование I-го уровня при условиях: 1 - расход через коллектор $\dot{m}_{кл} = const$, 2 - расход через катод $\dot{m}_к = const$, 3 - энергия ионов $U_T = const$, 4 - ток магнита $I_M = Vario$, при этом $I_n = F(I_M)$. Такая система регулирования обеспечивает преимущество перед известными техническими решениями, так как является безинерционной и характеризуется глубиной регулирования $I_{n\text{ мин}} / I_{n\text{ макс}} = 1/7$. Физическая возможность такого регулирования основана на влиянии магнитного поля на степень ионизации в разряде данного типа. Особенно удобно использование такой системы регулирования в ИЛУ технологического назначения при ограничении скорости вакуумной откачки из объема, в котором установлена обрабатываемая мишень 29. В этом случае расход газа $\dot{m} = \dot{m}_{кл} + \dot{m}_к$ устанавливается меньше предельного по скорости откачки, а изменение режимов по току осуществляют только заданием соответствующего тока магнита I_M описанным выше способом.

В тех же случаях, когда важно поддерживать и коэффициент использования газа, в ИЛУ может быть введена вторая система регулирования (регулирование второго уровня). В этом случае ИЛУ работает следующим образом.

Например, при переходе с одного заданного уровня по ионному току I_{n1} на второй, меньший по величине I_{n2} , в задатчике ионного тока формируют сигнал $I_{пз2} < I_{пз1}$. В результате первая система регулирования за время порядка T_1 реагирует на разбаланс в устройстве 24, изменяя ток ионного пучка до нового заданного уровня I_{n2} . При этом в блоке 26 сравнения тока пучка и расхода газа в токовом эквиваленте, получаемого с датчика расхода I_2 в коллектор 9, вырабатывается сигнал $\Delta\beta = \beta_3 - \beta$ между заданным (β_3) и действительным (β) значением β (в данном случае $\Delta\beta > 0$). Если, например, регулятор расхода I_3 выполнен в виде термокапилляра, источник питания I_5 выраба-

тывает больший ток, регулятор расхода начинает переходить на более высокий температурный режим, а расход в коллектор — снижаться. Характерное время этих изменений

$\tau_2 \gg \tau_1$ (более чем на порядок), поэтому указанное изменение расхода не влияет на величину тока пучка, так как первая система регулирования с инерционностью порядка τ_1 обрабатывает в процессе перехода на новый режим по расходу соответствующее увеличение тока магнита описанным выше способом. Таким образом, использование двухконтурной системы регулирования обеспечивает регулирование ионного тока и КИГа с использованием функциональных зависимостей: $I_n = F_1(I_M, \dot{m}_{кл})$ и $\beta = F_2(I_M, \dot{m}_{кл})$ при $\dot{m}_{кл} = \text{const}$, $I_M = \text{const}$.

В цепи питания разряда целесообразно использовать источник минимальной мощности, но при этом обеспечивать выполнение условия постоянства разрядного напряжения U_p . Для этого необходимо ввести третью систему регулирования, позволяющую изменять соотношение расходов в коллектор и в катод: $\dot{m}_k / \dot{m}_{кл}$. Указанная система содержит регулятор I_6 расхода в катод, задатчик 36 и датчик 37 напряжения разряда, а также устройство 38 , вырабатывающее управляющее воздействие, соединенное с источником питания I_7 регулятора I_6 расхода. Постоянная регулирования третьей системы обратной связи примерно такая же, как и второй, поэтому указанное поддержание U_p за счёт изменения $\dot{m}_k / \dot{m}_{кл}$ также происходит при поддержании I_n с заданной точностью.

Во многих случаях при ионно-лучевой обработке мишени важно поддержание заданного потенциала мишени по отношению к потенциалу плазмы (пучка) в зоне нейтрализации (пространстве между замедляющим электродом 7 и мишенью 29). Указанная разность потенциалов может задаваться режимом работы катода-компенсатора 30 , установленного под

потенциалом замедляющего электрода в зоне нейтрализации пучка. На чертеже приведена схема поддержания потенциала мишени с использованием термоэмиссионного катода-компенсатора 30, при котором управляющее воздействие, вырабатываемое устройством 34 на основе сравнения сигналов с задатчика 32 и датчика 33 потенциала мишени: $\Delta E_M = E_{M_3} - E_M$, подается на источник 31 нагрева катода 30. Указанная система может быть построена также и на основе компенсатора типа полого катода, только в этом случае в качестве варьируемого параметра целесообразно выбрать расход в полый катод (по типу системы регулирования расхода в полый катод 2 источника).

Данная ИЛУ обеспечивает, таким образом, безинерционное регулирование и поддержание ионного тока пучка при контроле коэффициента использования рабочего газа, потенциала обрабатываемой мишени и разрядного напряжения в более широком диапазоне регулирования и с более высокой энергетической и газовой экономичностью, чем известные ИЛУ такого типа.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

Ионно-лучевая установка, содержащая газоразрядный источник ионов, включающий полый катод, анод, коллектор ввода рабочего газа, электромагнит, экранный, ускоряющий и замедляющий электроды, систему подачи рабочего газа, включающую устройства подачи рабочего газа в полый катод и в коллектор источника, систему электропитания источника, состоящую из источника разрядного напряжения и источников питания экранного, ускоряющего электродов и электромагнита, а также систему регулирования ионного тока, включающую задатчик, датчик ионного тока и устройство, вырабатывающее управляющее воздействие, отличающаяся тем, что, с целью расширения диапазона регулирования по току ионного пучка, устройство, вырабатывающее управляющее воздействие, соединено с источником питания электромагнита, в устройство подачи рабочего газа в полый катод источника введен регулятор расхода, а в установку введена система поддержания напряжения разряда, включающая задатчик, датчик напряжения разряда и устройство, формирующее управляющее воздействие, связанное с регулятором расхода газа в катод.

Источники информации, принятые во внимание при экспертизе:

1. Pavlik et al Operation of a light weight power conditioner with a hollow cathode ion thruster. Journal of Spacecraft and Rockets,

8, № 3, 1971, с.245.

2. J.Hyman et al Development of a liquid Mercury cathode thruster system Journal of Spacecraft and rockets,

8, № 7, 1971, с.717-721 (прототип).

А Н Н О Т А Ц И Я

Изобретение относится к области техники создания интенсивных ионных пучков, предназначенных для проведения технологических операций, создания тяги, инъекции плазмы в магнитные ловушки.

Цель изобретения - расширение диапазона регулирования по току ионного пучка.

Ионно-лучевая установка содержит газоразрядный источник ионов, включающий полый катод, анод, коллатор ввода рабочего газа, электромагнит, экранный, ускоряющий и замедляющий электроды, систему подачи рабочего газа, включающую устройства подачи рабочего газа в полый катод и в коллектор источника, систему электропитания источника, систему регулирования ионного тока, включающую задатчик, датчик ионного тока и устройство, вырабатывающее управляющее воздействие.

Новым является то, что устройство, вырабатывающее управляющее воздействие, соединено с источником питания электромагнита, а в устройство подачи рабочего газа в полый катод источника введен регулятор расхода, а в установку введена система поддержания напряжения разряда, включающая задатчик, датчик напряжения разряда и устройство, формирующее управляющее воздействие, связанное с регулятором расхода газа в катод.

Признано изобретением по результатам экспертизы, осуществленной Государственным Комитетом СССР по делам изобретений и открытий.

1 чертёж

PŘEDMĚT VYNÁLEZU

Zařízení k vytváření ionizačních paprsků, obsahující jiskřiště jako zdroj ionů, zahrnující dutou katodu, anodu, vstupní kolektor pracovního plynu, elektromagnet, stínění, urychlovací a zpomalovací elektrody, systém přívodu pracovního plynu, zahrnující zařízení přívodu pracovního plynu do duté katody a do kolektoru zdroje, napájení zdroje ionů, skládající se ze zdroje vybíjecího napětí a napájecích zdrojů stíněné a urychlující elektrody a elektromagnetu a také systému regulace toku ionů, zahrnující ovladač, snímač toku ionů a řídicí zařízení, vyznačující se tím, že s cílem rozšíření rozsahu regulace toku ionového svazku je spojeno s napájecím zdrojem elektromagnetu a k přívodu pracovního plynu do duté katody zdroje ionů je zaveden regulátor spotřeby plynu a dále zařízení obsahuje obvod pro udržení vybíjecího napětí, zahrnující ovladač a snímač vybíjecího napětí, přičemž řídicí zařízení je spojeno s regulátorem spotřeby plynu do katody.

