



(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 107 837** ⁽¹³⁾ **C1**
(51) МПК⁶ **F 03 H 1/00, H 05 H 1/54**

РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО
ПО ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

(21), (22) Заявка: 95107039/25, 21.06.1993

(46) Дата публикации: 27.03.1998

(56) Ссылки: Журнал технической физики. Т. 47, в.4. - Л.: Наука, с. 752 и 753. 2. Журнал технической физики. Т. 47, в. 8. - Л.: Наука, с. 1712 - 1715.

(86) Заявка РСТ:
FR 93/00612 (21.06.93)

(71) Заявитель:

Сосьете Ороpeen Де Пропюльсьон (FR),
Московский институт радиотехники,
электроники и автоматики (RU)

(72) Изобретатель: Валентиан Доминик[FR],
Морозов Алексей Иванович[RU], Бугрова
Антонина Ивановна[RU]

(73) Патентообладатель:

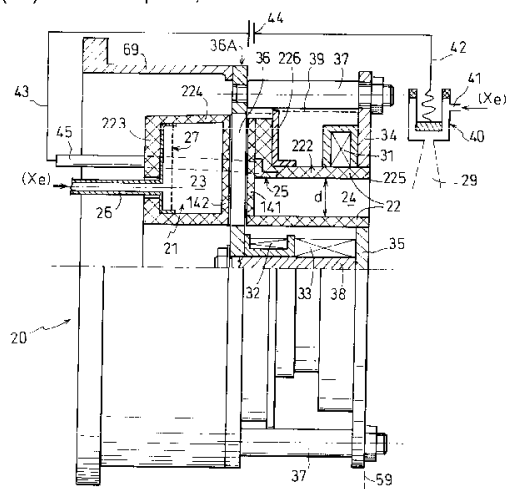
Сосьете Ороpeen Де Пропюльсьон (FR),
Московский институт радиотехники,
электроники и автоматики (RU)

(54) ПЛАЗМЕННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ УМЕНЬШЕННОЙ ДЛИНЫ С ЗАМКНУТЫМ ДРЕЙФОМ ЭЛЕКТРОНОВ

(57) Реферат:

Использование: в космической технике для создания реактивной тяги. Сущность изобретения: Средства (31-33; 34-38) создания магнитного поля в основном канале (24) плазменного двигателя обеспечивают создание в основном канале (24) магнитного поля в основном радиального в нижнем конце (225) канала (24), имеющего на этом уровне максимальную индукцию. Магнитное поле имеет минимальную индукцию в переходной зоне, расположенной вблизи анода (25), а абсолютная величина индукции этого поля-основа-увеличивается выше анода (25) на уровне камеры-заглушки (23), чтобы получить эффект магнитного зеркала. Силовые линии магнитного поля имеют между анодом (25) и нижним концом (225) канала (24) вогнутость, направленную книзу, вызывающую фокусирование ионов, с максимальной плотностью ионизации ниже анода (25). Средства создания магнитного поля включают несколько средств (31-33) создания магнитного поля и плоские радиальные полюсные элементы (34 и 35), внутренний (35) и внешний (34), расположенные на уровне выходной поверхности с обеих сторон от основного канала (24) и соединенные между собой посредством центрального сердечника (38),

ярма (36) и периферийной магнитной цепи (37), расположенной аксиально снаружи основного канала (24). Ярма (36) состоит из радиальных элементов, размещенных в непосредственной близости от анода (25) и пересекающих кольцевую камеру-заглушку (23), образуя между ними пространства сообщения между кольцевой камерой-заглушкой (23) и основным каналом (24). 19 з. п. ф-лы, 14 ил.



Фиг. 1



(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 107 837** ⁽¹³⁾ **C1**
 (51) Int. Cl.⁶ **F 03 H 1/00, H 05 H 1/54**

RUSSIAN AGENCY
 FOR PATENTS AND TRADEMARKS

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: 95107039/25, 21.06.1993
 (46) Date of publication: 27.03.1998
 (86) PCT application:
 FR 93/00612 (21.06.93)

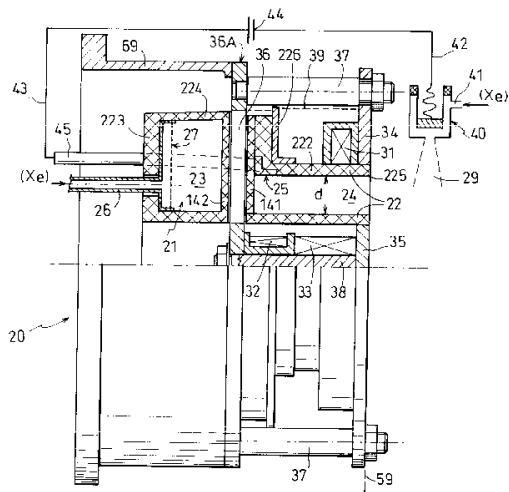
(71) Applicant:
 Sos'tete Oropéen De Propjul's'on (FR),
 Moskovskij institut radiotekhniki,
 ehlektroniki i avtomatiki (RU)
 (72) Inventor: Valentian Dominik[FR],
 Morozov Aleksej Ivanovich[RU], Bugrova
 Antonina Ivanovna[RU]
 (73) Proprietor:
 Sos'tete Oropéen De Propjul's'on (FR),
 Moskovskij institut radiotekhniki,
 ehlektroniki i avtomatiki (RU)

(54) **SHORT-LENGTH PLASMA-JET ENGINE WITH CLOSED-CIRCUIT ELECTRON DRIFT**

(57) Abstract:

FIELD: space engineering; reactive thrust generation. SUBSTANCE: facilities 31-33 and 34-38 build up magnetic field in main channel 24 of engine, radial at its lower end 225 where magnetic flux density is maximal. Minimal flux density is built up in transition zone neat anode 25 and absolute value of flux density of this field (base) increases upstream of anode 25 at plugging chamber 23 to produce magnetic mirror effect. Lines of force of magnetic field are concave downwards between anode 25 and lower end 225 which causes focusing of ions at maximum ionization density downstream of anode 25. Facilities for producing magnetic field are built up of several magnetic-field producing elements 31-33 and planar radial external and internal pole electrodes 34, 35, respectively, placed level with outlet surface on both sides of main channel 24 and interconnected by means of central core 38, yoke 36, and peripheral magnetic circuit 37 axially arranged outside main channel 24. Yoke 36 has radial members placed in

immediate proximity of anode 25 so that they cross annular plugging channel 23 to form communicating spaces between annular plugging chamber 23 and main channel 24. EFFECT: improved design. 20 cl, 14 dwg



RU 2 107 837 C1

RU 2 107 837 C1

Изобретение относится к плазменным двигателям, применяемым на космических аппаратах, в частности, к плазменным двигателям с замкнутым дрейфом электронов, называемых двигателями со стационарной плазмой или "холловскими двигателями".

Электрические двигатели предназначены, в основном для применения при движении в условиях космоса. В качестве источников ионов или плазмы они также используются для наземного применения, в частности, для ионной обработки. Благодаря их высокому удельному импульсу (от 1500 до 6000 с) они обеспечивают в спутниках значительный выигрыш по массе в сравнении с химическими реактивными двигателями.

Одним из типичных применений этого вида двигателей является обеспечение управления ориентацией Север-Юг геостационарных спутников при достижении выигрыша по массе от 10 до 16%. Такие двигатели могут быть также использованы для компенсации сопротивления на низкой орбите для сохранения гелиоцентрической орбиты на начальном участке межпланетного движения.

Ионные ракетные двигатели могут быть разделены на несколько категорий.

Первый тип ионного ракетного двигателя представлен двигателем с ионизацией путем бомбардировки или двигателем Кауфмана. Примеры ракетного двигателя такого типа описаны, в частности, в документах EP- A-P 132065, WO 89/05404 и EP-A-O 468706.

В двигателях, использующих ионизацию рабочего вещества путем бомбардировки, атомы газообразного рабочего вещества при низком давлении вводятся в разрядную камеру, где они подвергаются бомбардировке электронами, испускаемыми полым катодом и собираемыми анодом. Процесс ионизации усиливается в присутствии магнитного поля. Определенное число столкновений атомов с электронами приводит к созданию плазмы, ионы которой притягиваются ускоряющими электродами (выходными сетками), сами они имеют отрицательный потенциал по отношению к потенциалу плазмы. Электроды концентрируют и ускоряют ионы, которые выходят из ракетного двигателя. Заряд ионов нейтрализуется посредством потока электронов от внешнего полого катода-компенсатора.

Удельные импульсы, обеспечиваемые таким типом ракетных двигателей, составляют порядка 3000 с и выше.

Необходимая мощность - порядка 30 Вт на мН реактивной тяги. Другие типы двигателей с ионизацией включают двигатели с ионизацией посредством радиочастоты, двигатели с ионизацией через контакт, а также двигатели с эмиссией под действием поля.

Эти различные типы двигателей с ионизацией, включая двигатели с ионизацией за счет бомбардировки, имеют общее свойство - четко разделенные функции ионизации и ускорения.

Еще одной общей их характеристикой является то, что плотность тока в ионной оптике ограничена пространственным зарядом. Так для двигателей с ионизацией путем бомбардировки плотность тока ограничивается величиной $2-3 \text{ mA/cm}^2$,

следовательно они имеют достаточно низкую силу тяги.

Кроме того, такие двигатели, в частности, двигатели с ионизацией за счет бомбардировки, требуют использования определенного числа источников электропитания (от 4 до 10), что приводит к усложнению электронных схем преобразования и контроля.

Кроме того, известны, в частности, из статьи Л.Х.Арцимовича и др., опубликованной в 1974 г. и касающейся программы разработки двигателя со стационарной плазмой и опытов со спутником "Метеор", двигатели с замкнутым дрейфом электронов или двигатели со стационарной плазмой, которые отличаются от других типов двигателей тем, что ионизация и ускорение не разделены и что в зоне ускорения находится одинаковое число ионов и электронов, что позволяет устранить влияние пространственного заряда.

Ниже со ссылкой на фиг. 2, будет описан двигатель с замкнутым дрейфом электронов, как он представлен в указанной статье Л.Х.Арцимовича и др.

Кольцевой канал 1, образованный деталью 2 из изолирующего материала, размещен в электромагните, включающем внутреннюю 4 и внешнюю 3 кольцевые детали, образующие полюса и размещенные соответственно снаружи и внутри детали 2 из изолирующего материала, магнитное ярмо 12, расположенное наверху двигателя, и катушки 11 электромагнита, которые проходят по всей длине канала 1 и окружают магнитные сердечники 10, соединяющие внешнюю полюсную деталь 3 с ярмом 12. Полый катод 7, соединенный с массой, подключен к устройству подачи ксенона для образования облака плазмы перед нижним выходом канала 1. Кольцевой анод 5, соединенный с положительным полюсом источника электропитания, например, 300 В, расположен в верхней закрытой части кольцевого канала 1. Магистраль 6 подачи ксенона, взаимосвязанная с термическим и электрическим изолятором 8, сообщена с кольцевым распределительным каналом 9, расположенным непосредственно рядом с кольцевым анодом 5.

Электроны ионизации и нейтрализации поступают из полого катода 7. Электроны ионизации вовлекаются в кольцевой изолирующий канал 1 посредством электрического поля между анодом 5 и облаком плазмы из катода 7.

Под действием электрического поля E и магнитного поля B, созданного катушками 11, ионизирующие электроны перемещаются по траектории дрейфа по азимуту, обеспечивающей поддержание электрического поля в канале.

Ионизирующие электроны перемещаются при этом по траекториям, замкнутым внутри изолирующего канала, отсюда и название двигателя.

Движение дрейфа электронов значительно увеличивает вероятность столкновений электронов с нейтральными атомами, приводящих к образованию ионов (в данном случае ксенона).

Удельный импульс, получаемый в классических ионных двигателях с замкнутым дрейфом электронов, работающих на ксеноне

- порядка 1000- 2500 с.

В классических ионных двигателях с замкнутым дрейфом электронов, зона ионизации не сформована, в результате чего, они хорошо работают только с ксеноном, поток является расходящимся, рассеивающимся ($\pm 20^\circ$ апертуры луча), а К.П.Д., ограничен примерно 50%.

Кроме того, дивергенция потока вызывает износ стенки изолирующего канала, материал которого обычно является смесью нитрида бора и окиси алюминия.

Срок службы такого двигателя составляет около 3000 ч.

Кроме того, известно, в частности из статьи "Холловский ускоритель, с открытой одиночной линзой" В.Н.Демьяненко, Л.П.Зудкова и А.И.Морозова, опубликованной в августе 1976 г. в журнале "Советская физика. Техническая физика", том 21, 8, стр. 987-988, разделение обеих функций анода с использованием, с одной стороны, цилиндрического анода, а, с другой стороны, кольцевого распределения газа. Такая геометрическая форма позволяет упорядочить, выровнять расход ионизируемого газа вблизи анода. Для обеспечения усреднения, гомогенизации, анод и кольцевой распределитель газа разделены камерой-заглушкой. Плазменный двигатель, описанный в указанной статье, работает, однако, в импульсивном режиме с высоким разрядным напряжением и поэтому малоприменим для применения в космосе.

Задачей настоящего изобретения является устранение недостатков известных плазменных двигателей и, в частности, создание плазменного двигателя с замкнутым дрейфом электронов, имеющего улучшенные технические характеристики и, в частности, обеспечивающего эффективное формирование зоны ионизации без образования пространственного заряда, как, например, в ионных двигателях с ионизацией бомбардировкой.

Достижимый технический результат заключается в уменьшении дивергенции луча и увеличении плотности ионного пучка, электрического КПД, удельного импульса и срока службы, а также уменьшение массы и размеров двигателя.

Указанный технический результат достигается тем, что в плазменном двигателе с замкнутым дрейфом электронов, содержащем основной кольцевой канал ионизации и ускорения, ограниченный элементами из изолирующего материала и открытый на своем нижнем конце, по меньшей мере, один полый катод, расположенный снаружи основного кольцевого канала вблизи нижней части канала, кольцевой анод, концентрический с основным кольцевым каналом и расположенный на расстоянии от открытого нижнего конца, первые и вторые средства подачи ионизируемого газа, соответственно связанные с полым катодом и кольцевым анодом, средства создания магнитного поля в основном канале для создания в этом канале магнитного поля, по существу, радиального в нижнем конце канала и с максимальной индукцией на этом уровне, причем линии магнитного поля имеют между анодом и нижним концом канала вогнутость, направленную книзу, для фокусирования ионов, с максимальной

плотностью ионизации ниже анода, при этом средства создания магнитного поля включают несколько отдельных средств создания магнитного поля и радиальные полюсные плоские наконечники, внутренний и внешний, расположенные на уровне выходной поверхности по обе стороны от основного канала и соединенные между собой центральным сердечником, ярмо и периферийную магнитную цепь, расположенную аксиально снаружи основного канала, и кольцевую камеру-заглушку, имеющую в радиальном направлении размер, по меньшей мере, равный размеру основного кольцевого канала, и расположенную выше этого канала над зоной, в которой помещен кольцевой анод, причем вторые средства подачи ионизируемого газа сообщены с кольцевой камерой-заглушкой выше анода в зоне, содержащей анод, в соответствии с изобретением, средства создания магнитного поля в основном канале предназначены для создания магнитного поля с максимальной индукцией в переходной зоне, расположенной вблизи анода, причем абсолютная величина индукции магнитного поля увеличивается выше анода на уровне камеры-заглушки для создания эффекта магнитного зеркала, а ярмо средств создания магнитного поля состоит из радиальных элементов, расположенных непосредственно вблизи анода и пересекающих кольцевую камеру-заглушку с образованием пространства связи между кольцевой камерой-заглушкой и основным каналом, для уменьшения длины плазменного двигателя.

При этом размер камеры-заглушки в радиальном направлении предпочтительно имеет величину от одного до двух радиальных размеров основного канала.

Кроме того, средства создания магнитного поля предпочтительно включают первое средство, расположенное вокруг и снаружи основного канала вблизи его нижнего конца, второе средство, расположенное вокруг центрального сердечника в зоне, находящейся напротив анода и частично напротив камеры-заглушки для создания эффекта магнитного зеркала, и третье средство, расположенное вокруг центрального сердечника между вторым средством и нижним концом основного канала, причем первое, второе и третье средства создания магнитного поля состоят из индукционных катушек.

Кроме того, камера-заглушка предпочтительно включает несколько ячеек, которые сообщены с каналом ускорения вблизи анода, распределены вокруг оси двигателя и ограничены перегородками, параллельными оси двигателя, определяющими между соседними ячейками проходы для цилиндрических магнитных стержней, составляющих ярмо, без проникновения в камеру-заглушку с ячейками, причем камера-заглушка с ячейками выполнена в виде моноблока.

При этом ярмо предпочтительно содержит радиальные элементы, состоящие из цилиндрических магнитных стержней, пересекающих кольцевую камеру, причем магнитные стержни состоят из металлических стержней, электрически изолированных оболочками из двух частей, жестко соединенных соответственно со стенками

основного канала и стенками камеры-заглушки.

Кроме того, магнитные стержни могут быть соединены с их внешней периферийной частью кольцеобразным магнитным элементом, который служит конструктивной деталью крепления двигателя на конструкции спутника. Как вариант, магнитные стержни могут состоять из металлических стержней, электрически изолированных от массы элементами из феррита, составляющими соответственно периферийную магнитную цепь, расположенную аксиально снаружи основного канала и центрального сердечника, причем магнитные стержни могут быть поляризованы под потенциалом анода, или магнитные стержни могут состоять из изолирующего ферритного материала, обеспечивающего непосредственную установку в камере-заглушке.

Периферийная магнитная цепь предпочтительно включает набор соединительных стержней между внешним радиальным полюсным наконечником и ярмом или может быть выполнена в виде обечайки.

При этом ярмо предпочтительно содержит стержни, радиально направленные в плоскости практически перпендикулярной оси камеры-заглушки и основного канала, либо стержни, радиально направленные по образующим усеченного конуса, у которого наименьшее сечение соединено с центральным сердечником, наибольшее сечение соединено с периферийной магнитной цепью, а ось соответствует оси камеры-заглушки и основного канала.

Кроме того ярмо может содержать элемент в форме усеченного конуса из феррита, у которого наименьшее сечение соединено с центральным сердечником, а наибольшее сечение соединено с обечайкой, образующей периферийную магнитную цепь, при этом каналы, выполненные аксиально в элементе в форме усеченного конуса, образуют пространство сообщения между кольцевой камерой-заглушкой и основным каналом.

При этом вторые средства подачи ионизируемого газа предпочтительно сообщены с кольцевой камерой-заглушкой выше анода через кольцевой распределитель или сообщены с различными ячейками упомянутой камеры-заглушки с ячейками через звуковые сопла, связанные с кольцевым распределителем, или сообщены с камерой-заглушкой выше анода через звуковое сопло, установленное касательно к наибольшему диаметру камеры-заглушки, для обеспечения создания вихревого потока.

Причем полый катод предпочтительно размещен по оси двигателя внутри трубчатого центрального сердечника и термически изолирован от этого центрального сердечника с помощью изолирующего экрана.

Благодаря физическому разделению анода и распределителя ионизируемого газа, наличию камеры-заглушки и формированию магнитного поля особого профиля плазменный двигатель согласно изобретению имеет ряд следующих преимуществ:

более эффективная ионизация, следовательно, более высокий КПД;
возможность легкой ионизации различных рабочих газов, таких как ксенон, аргон и

т.д., за счет повышения эффективности процесса ионизации;

получение эквипотенциальных электростатических поверхностей, уменьшающих дивергенцию пучка, облегчающих конструктивное объединение со спутником и меньший износ канала ускорения.

В частности, формирование особого профиля магнитного поля в канале ускорения и выше анода в самой глубине камеры-заглушки позволяет улучшить однородность плазмы и уменьшить искажение эквипотенциальных электростатических полей в зоне ускорения, что способствует ограничению потерь ионов на стенках и увеличению фокусирования пучка, а также лучше локализовать зону образования ионов, что способствует уменьшению разброса энергии ионов, и осуществлять удерживание плазмы выше анода за счет эффекта магнитного зеркала.

Переход от минимальной величины магнитного поля вблизи анода к максимальной величине на выходе канала ускорения позволяет во всех случаях получить зону максимально возможной ионизации.

Геометрия камеры-заглушки обеспечивает распространение плазмы выше анода и ее удерживание посредством магнитного зеркала.

Расположение ярма связи между центральным сердечником и периферийной магнитной цепью в непосредственной близости от анода и проникновение в кольцевую камеру-заглушку позволяет уменьшить длину и, следовательно, массу узла магнитной цепи, что обеспечивает значительное уменьшение массы и размеров по сравнению с конструкциями, в которых ярмо связи между центральным сердечником и периферийной магнитной цепи расположено выше камеры-заглушки.

На фиг. 1 представлен общий вид и осевой полу-разрез плазменного двигателя с замкнутым дрейфом электронов, выполненного в соответствии с настоящим изобретением.

На фиг. 2 представлен осевой поперечный разрез плазменного двигателя с замкнутым дрейфом электронов, выполненного согласно известному уровню техники,

На фиг. 3 представлен вид в перспективе части элементов, составляющих плазменный двигатель согласно изобретению, показывающий ярмо с металлическими стержнями, изолированными электрически оболочками из двух частей.

На фиг. 3, а представлен фрагмент выполнения изолированного стержня на фиг. 3.

На фиг. 4 представлен осевой полуразрез плазменного двигателя согласно изобретению, подобного фиг. 1, но с отличающимися средствами соединения с опорной плитой.

На фиг. 5 представлен осевой разрез плазменного двигателя, выполненного согласно изобретению, с ярмом со стержнями связи из феррита.

На фиг. 6 представлен вид в осевом разрезе плазменного двигателя, выполненного согласно изобретению, с металлическими стержнями связи и частями магнитной цепи из феррита.

На фиг. 7 представлен осевой разрез плазменного двигателя, выполненного согласно изобретению, в котором ярмо связи состоит из стержней, расположенных по конусу.

На фиг. 8 представлен осевой разрез плазменного двигателя, выполненного согласно изобретению, в котором ярмо связи состоит из конической обечайки с осевыми соединительными каналами.

На фиг. 9 представлен осевой разрез плазменного двигателя, выполненного согласно изобретению, включающего камеру-заглушку, которая образует цилиндрическое удлинение канала ускорения без увеличения внешнего диаметра.

На фиг. 10 представлен осевой разрез плазменного двигателя, выполненного согласно изобретению, включающего камеру-заглушку, которая имеет уменьшенную длину и объединена с тангенциальным инжектором газа.

На фиг. 11 представлен полуразрез по плоскости XI-XI на фиг. 10.

На фиг. 12 представлен осевой разрез плазменного двигателя, выполненного согласно изобретению, включающего камеру-заглушку, разделенную на несколько ячеек, между которыми расположены магнитные стержни.

На фиг. 13 представлен вид в перспективе, показывающий камеру-заглушку в виде моноблока и узел магнитных стержней, которые могут быть смонтированы в плазменный двигатель на фиг. 12.

На фиг. 14 представлен вид в осевом разрезе плазменного двигателя, выполненного согласно изобретению, средний диаметр которого имеет значительную величину по отношению к ширине канала ускорения, и содержащего полый катод, который расположен внутри центрального полюсного элемента в форме полый трубы.

На фиг. 1 показан пример плазменного двигателя 20 с замкнутым дрейфом электронов, выполненного в соответствии с изобретением. Двигатель 20 включает комплект деталей 22 из изолирующего материала, ограничивающих кольцевой канал 21, образованный наверху из первой части, состоящей из камеры-заглушки 23 и ниже второй части, состоящей из канала ускорения 24.

Кольцевая камера 23 имеет размер в радиальном направлении, который примерно равен размеру в радиальном направлении кольцевого канала 24 ускорения или превышает его в два раза. В осевом направлении камера-заглушка 23 может быть немного короче, чем канал ускорения 24 и имеет длину, преимущественно равную или в 1,5 раза превышающую размер в радиальном направлении канала ускорения 24.

Анод 25, соединенный электрической линией с источником постоянного напряжения 44, которое может быть порядка 200-300В размещается на изолирующих деталях 22, ограничивающих кольцевой канал 21 в зоне, расположенной непосредственно ниже камеры-заглушки 23 на входе канала ускорения 24. Линия питания 43 анода 25 размещена в изолирующей трубе 45, которая пересекает элементы 223 и 224 из изолирующего материала, ограничивающие

камеру-заглушку 23.

Труба 26 подачи ионизируемого газа, например, ксенона, также пересекает дно 223 камеры-заглушки 23, сообщаясь с кольцевым распределителем газа 27, размещенным в дне камеры-заглушки 23.

Канал 21, ограниченный изолирующими деталями 22, размещен в магнитной цепи, состоящей в основном из трех катушек 31, 32 и 33 и полюсных элементов 34 и 35.

Плоские полюсные элементы, внешний 34 и внутренний 35, размещены в плоскости выхода двигателя снаружи относительно канала ускорения 24 и образуют линии магнитного поля, которые в открытой нижней части канала ускорения 24 почти параллельны выходной плоскости 59 двигателя 20.

Магнитная цепь, состоящая из полюсных элементов 34 и 35 замкнута центральным осевым сердечником 38 и соединительными стержнями 37, расположенными по окружности двигателя в основном цилиндрической формы, причем центральный сердечник 38 из ферромагнитного материала и соединительные стержни 37 из ферромагнитного материала контактируют с задним соединительным ярмом 36 из ферромагнитного материала. Ярмо 36 состоит из радиальных элементов, которые расположены в непосредственной близости от анода 25 и проникают в камеру-заглушку 23, образуя между ними пространство связи 136 между камерой-заглушкой и кольцевым каналом 24.

Экран 39, защищающий от загрязнений или излучений, также может размещаться между изолирующими деталями 22 и соединительными стержнями 37. Соединительные стержни 37 и экран 39 могут, однако, быть заменены обечайкой цилиндрической или конусо-цилиндрической формы, которая одновременно служит средством замыкания магнитной цепи и экраном, защищающим от загрязнений.

Электроны, необходимые для работы двигателя, обеспечиваются полым катодом 40.

Катод 40, соединенный электрически посредством линии 42 с отрицательным полюсом источника напряжения 44, включает цепь питания 41 ионизируемым газом, например, ксеноном, и размещается ниже зоны выхода канала ускорения 24.

Электроны плазмы 29 направляются к аноду 25 под действием электростатического поля E благодаря разности потенциалов между анодом 25 и катодом 40. Эти электроны движутся по траектории дрейфа по азимуту в канале ускорения 24 под действием электрического поля E и магнитного поля B. Типичное значение поля на выходе канала 24 150-200 Э.

Первичные электроны ускоряются с помощью электростатического поля E, сталкиваются с изолирующей стенкой 22, в результате чего формируются вторичные электроны более низкой энергии, входящие в столкновение с нейтральными атомами ксенона, выходящими из камеры-заглушки 23.

Образованные при этом ионы ксенона ускоряются электрическим полем E в канале ускорения 24. Из-за наличия электронов в канале ускорения 24 пространственный заряд

отсутствует. Нейтрализация пучка ионов обеспечивается частью электронов, выходящих из полого катода 40.

Преобладание градиента радиального магнитного поля, полученного благодаря указанному расположению катушек 31-33 и полюсных элементов 34 и 35, позволяет разделить функции ускорения ионов от функции ионизации в зоне, близкой к аноду 25. Эта зона ионизации может частично располагаться в камере-заглушке 23.

Важный отличительный признак двигателя, соответствующего изобретению, состоит в наличии камеры-заглушки 23, которая позволяет оптимизировать зону ионизации.

В классических двигателях с замкнутым дрейфом электронов значительная часть ионизации приходится на среднюю часть. Часть ионов ударяется о стенки, что является причиной быстрого износа стенок и таким образом уменьшается срок службы двигателя. Камера-заглушка 23 благоприятствует уменьшению градиента концентрации плазмы по радиусу, а также охлаждению электронов на входе канала ускорения 24, что уменьшает дивергенцию ионного пучка на стенки и таким образом помогает избежать потерю ионов посредством столкновения с ними, что дает увеличение КПД и уменьшение дивергенции пучка на выходе двигателя.

Другим важным отличительным признаком является наличие трех катушек 31-33, которые могут иметь различные размеры и позволяют оптимизировать магнитное поле благодаря их осевому размещению.

Первая катушка 31 размещена вокруг основного канала 24 вблизи нижнего конца 225 этого канала. Вторая катушка 32 размещена вокруг центрального сердечника 38, в зоне, находящейся напротив анода 25, которая может располагаться напротив камеры-заглушки 23 так, чтобы обеспечить создание эффекта магнитного зеркала (фиг. 7 и 8). Третья катушка 33 размещена, вокруг центрального сердечника 38 между второй катушкой 32 и нижним концом 225 основного канала ускорения 24. Катушки 31, 32 и 33 могут иметь различные размеры. Присутствие трех различных катушек 31, 32 и 33 позволяет получить более направленный параллельный поток, чем в классических двигателях. Созданное магнитное поле является, в основном, радиальным в конце 225 основного канала ускорения 24 и имеет максимальную индуктивность на этом уровне. Магнитное поле вблизи анода имеет минимальную величину, близкую к нулю. Абсолютная величина магнитного поля увеличивается выше анода 25, в частности, в камере-заглушке 23. Такая конфигурация магнитного поля создает эффект магнитного зеркала, препятствующий распространению плазмы в камере-заглушке 23.

Согласно одному из примеров выполнения катушки 31-33 для создания магнитного поля могут быть заменены, по меньшей мере, частично постоянными магнитами, у которых точка Кюри выше рабочей температуры.

Кольцевая катушка 31 может также быть заменена набором отдельных катушек, расположенных вокруг различных стержней связи 37, составляющих периферическую магнитную цепь.

В качестве магнитного материала цепи, состоящей из полюсных элементов 34 и 35, центрального сердечника 38, стержней 37 и ярма 36, могут быть выбраны мягкая сталь, сверхчистое железо или сплав железо-хром с высокой магнитной проницаемостью.

Полюсные элементы 34 и 35 могут иметь размер порядка 20 мм в осевом направлении.

Количество ампер-витков каждой катушки 31, 32 и 33 и соотношение между длиной и диаметром из этих катушек определяются из условия создания в канале ускорения радиального магнитного поля, максимум которого находится в выходной плоскости 59 двигателя, силовые линии поля у выхода 225, в основном, параллельны выходной поверхности 59, а силовые линии у анода 25, в основном, проходят так, что способствуют ионизации рабочего газа в этой зоне.

Ионный двигатель, характеризующийся наличием камеры-заглушки 23 и набора катушек 31, 32 и 33, позволяет получить электрический КПД порядка 50-70%, на 10-25% выше по отношению к известным системам.

При выполнении двигателя согласно изобретению на его выходе получают поток почти цилиндрической формы, с очень низкой дивергенцией пучка ионов, порядка $\pm 9^\circ$. Следовательно, при наличии канала ускорения с внешним диаметром 80 мм, во внешнем пространстве выходной плоскости 59 можно получить 90% энергии, сконцентрированной в пределах диаметра канала ускорения.

Двигатель, выполненный согласно изобретению, обеспечивает более высокую плотность тяги (например, плотность тяги в секторе порядка от 1 до 2 мН/см). Следовательно, такой двигатель имеет лучшие массогабаритные характеристики и высокий КПД.

Кроме того, плазменный двигатель, выполненный согласно изобретению, позволяет добиться срока службы по меньшей мере 5000-6000 ч из-за более низкой эрозии канала 24, связанной с лучшей фокусировкой ионизированной струи.

Плазменный двигатель, соответствующий изобретению, может быть реализован в самых различных вариантах.

Как показано на фиг. 1, магнитная цепь включает внешний полюсный элемент 34 и внутренний полюсный элемент 35, магнитный сердечник 38, ярмо связи 36 и осевые сферомангнитные стержни 32, которые проходят до внешнего кольцеобразного элемента 36а, который является частью ярма связи 36 и служит конструктивной деталью, которая может быть закреплена прямо на монтажной плите двигателя на спутнике, близко к центру гравитации двигателя, что улучшает вибропрочность, или соединяется с монтажной плитой посредством немагнитной цилиндрической обечайки 69, образующей монтажный переходник.

Ярмо связи между центральным магнитным сердечником 38 и осевыми ферромагнитными стержнями 37 состоит из радиальных стержней 36 из ферромагнитного материала, которые пересекают камеру-заглушку 23 выше основного канала 24 и анода 25, образуя значительное пространство связи 136 между камерой-заглушкой 23 и основным каналом 24, как показано на фиг. 3.

Число стержней 36 может быть выбрано в пределах от трех до девяти. Внешний кольцеобразный элемент 36а в форме шайбы может быть выполнен заодно со стержнями 36.

В примере осуществления, показанном на фиг. 1, 3, 3а представлены стержни, электроизолированные изолирующими оболочками 141 и 142. Оболочки 141 и 142 выполнены преимущественно из двух частей 141 и 142, жестко соединенных соответственно со стенками 22 основной камеры 24 и стенками 224 камеры-заглушки 23. В примере осуществления по фиг. 3 и 3А стержни 36 имеют сечение полуцилиндрической формы, каждая половина оболочки 141 имеет сечение, охватывающее полуцилиндрическую форму стержня 36, а каждая половина оболочки 142 имеет плоскую форму и примыкает к плоской поверхности стержня 36.

На фиг.4 показан в полуразрезе и перспективе вариант реализации, при котором стержни 36 составляют радиальные поперечины, которые не соединены между собой кольцом 36А с их внешним концом. Различные осевые стержни 37 соединяются в этом случае непосредственно с внешними концами радиальных стержней 36. С другой стороны, каждый стержень 36 соединен посредством распорки 146 с опорной плитой 145.

Для большей ясности на фиг. 3 - 8 не представлены некоторые элементы, показанные на фиг. 1, такие как средства электропитания анода 25.

В примере выполнения, показанном на фиг. 5, осевые стержни 37 заменены внешней обечайкой 37а из ферромагнитного материала. Сами радиальные стержни 36 выполнены из электрически изолирующего мягкого феррита. Следовательно, стержни 36 не нужно окружать изолирующими оболочками 141 и 142, как в случае выполнения согласно фиг.1, 3 и 4. В случае стержней 36, выполненных из мягкого феррита, не возникает возмущения электростатического поля вблизи стержней.

Герметичность между стержнями 36 и стенками 22 из изолирующей керамики основной камеры 24 может быть обеспечена за счет использования цемента и уплотнения стеклом, при условии, что керамика и феррит выбраны из условия близости их коэффициентов расширения.

На фиг. 5 показан частный случай герметической формы, предусматривающей семь радиальных цилиндрических стержней 36 из феррита, которые замыкают магнитную цепь между внешней обечайкой 37а и центральным сердечником 38.

В способе выполнения по фиг. 6 стержни связи 36 изготовлены из металлического ферромагнитного материала, но не окружены изолирующими оболочками. Центральный сердечник 38 и детали 37b, которые составляют часть осевой внешней магнитной цепи и могут быть выполнены в виде стержней или обечайки, изготовлены из электрически изолирующего феррита.

В этом случае металлические стержни 36 могут быть под потенциалом анода и могут служить анодом 25 или дополнительным анодом.

На фиг. 7 показан пример выполнения, в

котором радиальные стержни связи 36 размещаются по образующим конуса, основание которого повернуто к низу двигателя. Основание конуса соединено с обечайкой 37а, составляющей часть внешней осевой магнитной цепи, а вершина конуса или наименьшее сечение усеченного конуса соединены с центральным сердечником 38 через камеру-заглушку 23. Это позволяет изготовить катушку 32 большой длины вблизи стыка между камерой-заглушкой 23 и основным каналом 24.

На фиг. 8 показан пример выполнения, при котором соединительное ярмо 36 состоит из конической детали из феррита, большее основание которого повернуто книзу и соединено с цилиндрической обечайкой 37а, составляющей часть осевой внешней магнитной цепи, а вершина соединена с центральным сердечником 38, причем коническая часть 36 пересекает камеру-заглушку 23 выше анода 25. Камера-заглушка 23 разделена, таким образом, на две полости, которые сообщаются посредством каналов 136, аксиально просверленных в конической детали 36. Каналы выполнены в достаточном количестве или достаточно большого сечения, чтобы сопротивление проходу газа было незначительным.

Применение ярма связи 36 конической формы, пересекающего камеру-заглушку 23 выше анода 25, позволяет расположить катушку 32 относительно большой длины вблизи стыка между камерой-заглушкой 23 и основным каналом 24.

На фиг. 9 показан плазменный двигатель, в котором камера-заглушка 23 образует цилиндрическое удлинение канала ускорения 24. В этом случае поперечный размер камеры-заглушки 23 и внешний диаметр камеры являются теми же самыми, что и для канала ускорения 24.

Комплект деталей 222, 223 и 224, определяющих кольцевой канал 21, включающий последовательно камеру-заглушку 23 и канал ускорения 24 имеет на внешней стороне своей стенки 224 перпендикулярно оси двигателя монтажный выступ 323 на фланце 145 монтажного переходника, на котором поддерживается обечайка 37а, составляющая часть внешней осевой магнитной цепи. Плоскость контакта, на уровне которой может производиться крепление двигателя на опорную конструкцию спутника, указана позицией 245.

Конструкция двигателя по фиг. 9 может соответствовать выполнению по фиг. 5. Кольцевой распределитель 27 для подачи ионизируемого газа может размещаться у дна 223 камеры-заглушки 23 вблизи внутреннего элемента 222, который ограничивает одновременно камеру-заглушку 23 и канал ускорения 24.

На фиг. 10 и 11 показан плазменный двигатель, в котором камера-заглушка 23 имеет уменьшенную длину в продольном направлении, которая может быть намного меньше поперечного размера канала ускорения 24.

В этом случае кольцевой распределитель 27 заменяется тангенциальным инжектором газа 227, обеспечивающим тангенциальный ввод газа в камеру-заглушку 23, создавая эффект вихря, что обеспечивает

однородность газового потока, несмотря на небольшой продольный размер камеры-заглушки, например, как показано на фиг. 6.

На фиг. 12 показан возможный пример выполнения плазменного двигателя, в котором камера-заглушка 23, показанная в перспективе на фиг. 13, включает несколько ячеек, которые выходят в канал ускорения 24 вблизи анода 25, распределены вокруг оси двигателя и ограничены перегородками, параллельными оси двигателя. Перегородки, параллельные оси двигателя, определяют между соседними ячейками проходы 423 для магнитных стержней 36, составляющих ярмо. В этом случае магнитные стержни 36 не проникают физически в камеру-заглушку 23, которая может представлять собой моноблок, изготовленный, например, по технологии выдувания стекла или кварца. Камера-заглушка 23, которая образована вокруг стержней, может быть изготовлена формованием, а не выдуванием. Стенки 223 камеры-заглушки с ячейками 23 изготовлены из материала, отличного от материала цилиндрической части 22 канала ускорения 24. Стык между нижним концом стенок 223 камеры-заглушки с ячейками 23 и верхним концом стенок 22 кольцевого канала 21, содержащих анод 25, обозначен позицией 523.

Кольцевой распределитель 27 может устанавливаться впереди на стенке камеры-заглушки 23. Кольцевой распределитель 27 объединен с горловинами 127 звуковых сопел, которые выходят в различные ячейки камеры-заглушки 23. Как следует из фиг. 12, подача рабочего вещества может преимущественно производиться в направлении вверх, причем кольцевой распределитель 27 помещен ниже камеры-заглушки 23. Инжекция ионизированного газа осуществляется во всех случаях на некотором расстоянии выше анода 25.

Камера-заглушка 23 может включать от трех до девяти ячеек, причем магнитные стержни 36 в количестве, равном количеству ячеек, расположены в проходах 423.

Узел магнитной цепи, состоящей из деталей 36, 38 и 35, а также катушки 32 и 33, может быть введен через заднюю часть камеры-заглушки 23.

На фиг. 14 показан возможный пример выполнения плазменного двигателя, у которого средний диаметр канала ускорения 24 имеет значительную величину по отношению к ширине этого канала. В этом случае центральный полюсный элемент 38 может быть выполнен трубчатым, образуя свободное центральное пространство, в который можно ввести полый катод 40, который размещается по оси двигателя. Чтобы избежать перегрева катушек 32 и 33 катодом 40 суперизолирующий экран 140, например, конической формы, раскрывающейся книзу, расположен вокруг катода 40 таким образом, чтобы обеспечить излучение катода 40 к пространству. Катод 40 поддерживается в положении относительно полюсного центрального трубчатого элемента 38 посредством механической опоры 240.

На фиг. 12 и 14 показан фланец 145 поверхности контакта, расположенный по соседству с соединением стержней 36 с внешней обечайкой 37а, облегчающий

монтаж на спутники.

Во всех описанных случаях примеров осуществления изобретения магнитная цепь не доходит до дна двигателя выше камеры-заглушки 23, что позволяет уменьшить общую массу и длину двигателя, не создавая помех его работы.

Формула изобретения:

1. Плазменный двигатель с замкнутым дрейфом электронов, содержащий основной кольцевой канал ионизации и ускорения, ограниченный элементами из изолирующего материала и открытый на своем нижнем конце, по меньшей мере один полый катод, расположенный снаружи основного кольцевого канала вблизи нижней части канала, кольцевой анод, концентрический с основным кольцевым каналом и расположенный на расстоянии от открытого нижнего конца, первые и вторые средства подачи ионизируемого газа, соответственно связанные с полым катодом и кольцевым анодом, средства создания магнитного поля в основном канале для создания в этом канале магнитного поля по существу радиального в нижнем конце канала и с максимальной индукцией на этом уровне, причем линии магнитного поля имеют между анодом и нижним концом канала вогнутость, направленную книзу, для фокусирования ионов с максимальной плотностью ионизации ниже анода, при этом средства создания магнитного поля включают несколько отдельных средств создания магнитного поля и радиальные полюсные плоские наконечники, внутренний и внешний, расположенные на уровне выходной поверхности по обе стороны от основного канала и соединенные между собой центральным сердечником, ярмо и периферийную магнитную цепь, расположенную аксиально снаружи основного канала, и кольцевую камеру-заглушку, имеющую в радиальном направлении размер, по меньшей мере равный размеру основного кольцевого канала, расположенную выше этого канала над зоной, в которой помещен кольцевой анод, причем вторые средства подачи ионизируемого газа сообщены с кольцевой камерой-заглушкой выше анода в зоне, содержащей анод, отличающийся тем, что средство создания магнитного поля в основном канале предназначено для создания магнитного поля с максимальной индукцией в переходной зоне, расположенной вблизи анода, причем абсолютная величина индукции магнитного поля увеличивается выше анода на уровне камеры-заглушки для создания эффекта магнитного зеркала, а ярмо средства создания магнитного поля состоит из радиальных элементов, расположенных непосредственно вблизи анода и пересекающих кольцевую камеру-заглушку с образованием пространства связи между кольцевой камерой-заглушкой и основным каналом, для уменьшения длины плазменного двигателя.

2. Плазменный двигатель по п.1, отличающийся тем, что размер камеры-заглушки в радиальном направлении имеет величину от одного до двух радиальных размеров основного канала.

3. Плазменный двигатель по п.1, отличающийся тем, что средства создания магнитного поля включают первое средство,

расположенное вокруг и снаружи основного канала вблизи его нижнего конца, второе средство, расположенное вокруг центрального сердечника в зоне, находящейся напротив анода и частично напротив камеры-заглушки для создания

эффекта магнитного зеркала, и третье средство, расположенное вокруг центрального сердечника между вторым средством и нижним краем основного канала.

4. Плазменный двигатель по п.3, отличающийся тем, что первое, второе и третье средства создания магнитного поля состоят из индукционных катушек.

5. Плазменный двигатель по любому из пп.1 - 4, отличающийся тем, что камера-заглушка включает несколько ячеек, которые сообщены с каналом ускорения

вблизи анода, распределены вокруг оси двигателя и ограничены перегородками, параллельными оси двигателя, определяющими между соседними ячейками

проходы для цилиндрических магнитных стержней, составляющих ярмо, без проникновения в камеру-заглушку с ячейками.

6. Плазменный двигатель по п.5, отличающийся тем, что камера-заглушка с ячейками выполнена в виде моноблока.

7. Плазменный двигатель по любому из пп.1 - 4, отличающийся тем, что ярмо содержит радиальные элементы, состоящие из цилиндрических магнитных стержней, пересекающих кольцевую камеру.

8. Плазменный двигатель по п.7, отличающийся тем, что магнитные стержни состоят из металлических стержней, электрически изолированных оболочками из двух частей, жестко соединенных

соответственно со стенками основного канала и стенками камеры-заглушки.

9. Плазменный двигатель по п.7 или 8, отличающийся тем, что магнитные стержни соединены с их внешней периферийной частью кольцеобразным магнитным элементом, который служит конструктивной деталью крепления двигателя на конструкции спутника.

10. Плазменный двигатель по п.7, отличающийся тем, что магнитные стержни состоят из металлических стержней, электрически изолированных от массы элементами из феррита, составляющими соответственно периферийную магнитную цепь, расположенную аксиально снаружи основного канала и центрального сердечника, причем магнитные стержни могут быть потенциалом анода.

11. Плазменный двигатель по п.7, отличающийся тем, что магнитные стержни состоят из изолирующего ферритного материала, обеспечивающего непосредственную установку в камере-заглушке.

12. Плазменный двигатель по любому из пп.7 - 10, отличающийся тем, что периферийная магнитная цепь включает набор соединительных стержней между внешним радиальным полюсным наконечником и ярмом.

13. Плазменный двигатель по любому из пп.1 - 11, отличающийся тем, что периферийная магнитная цепь выполнена в виде обечайки.

14. Плазменный двигатель по любому из пп.1 - 12, отличающийся тем, что ярмо содержит стержни, радиально направленные в плоскости, практически перпендикулярной оси камеры-заглушки и основного канала.

15. Плазменный двигатель по любому из пп.1 - 12, отличающийся тем, что ярмо содержит стержни, радиально направленные по образующим усеченного конуса, у которого наименьшее сечение соединено с центральным сердечником, наибольшее сечение соединено с периферийной магнитной цепью, а ось соответствует оси камеры-заглушки и основного канала.

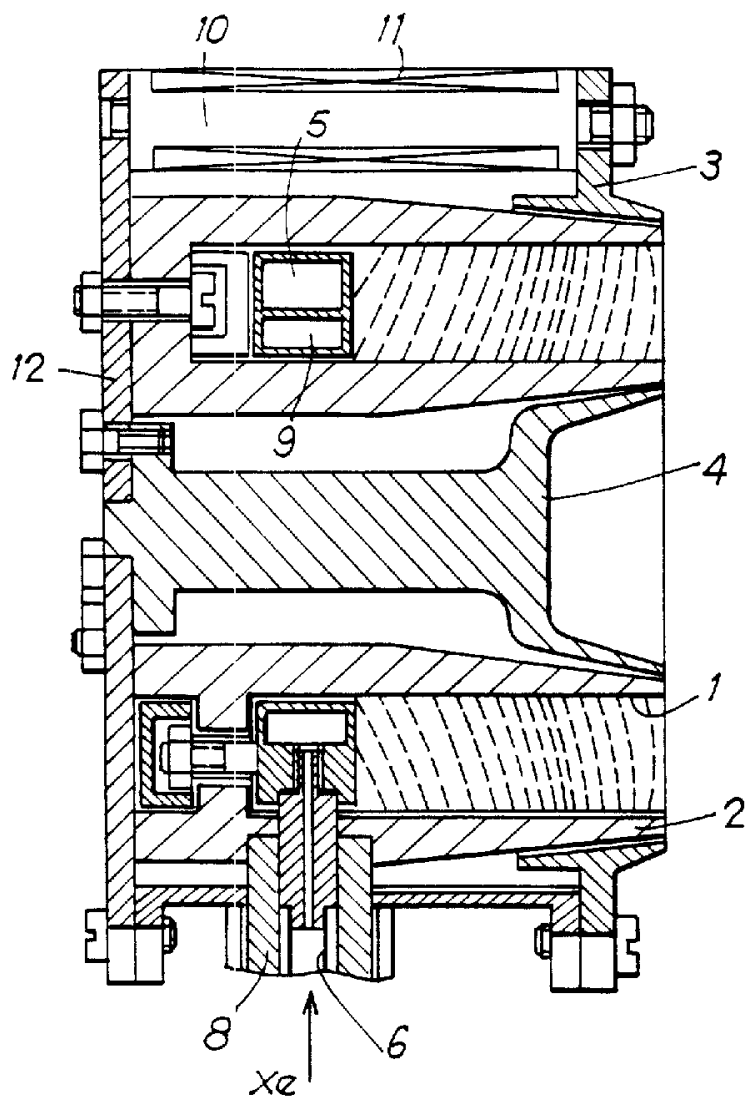
16. Плазменный двигатель по любому из пп.1 - 4, отличающийся тем, что ярмо содержит элемент в форме усеченного конуса из феррита, у которого наименьшее сечение соединено с центральным сердечником, а наибольшее сечение соединено с обечайкой, образующей периферийную магнитную цепь, при этом каналы, выполненные аксиально в элементе в форме усеченного конуса, образуют пространство сообщения между кольцевой камерой-заглушкой и основным каналом.

17. Плазменный двигатель по любому из пп.1 - 4, отличающийся тем, что вторые средства подачи ионизируемого газа сообщены с кольцевой камерой-заглушкой выше анода через кольцевой распределитель.

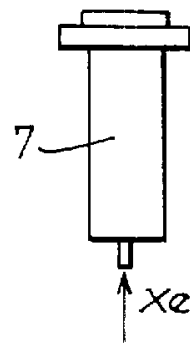
18. Плазменный двигатель по п.5, отличающийся тем, что второе средство подачи ионизируемого газа сообщены с радиальными ячейками упомянутой камеры-заглушки с ячейками через звуковые сопла, связанные с кольцевым распределителем.

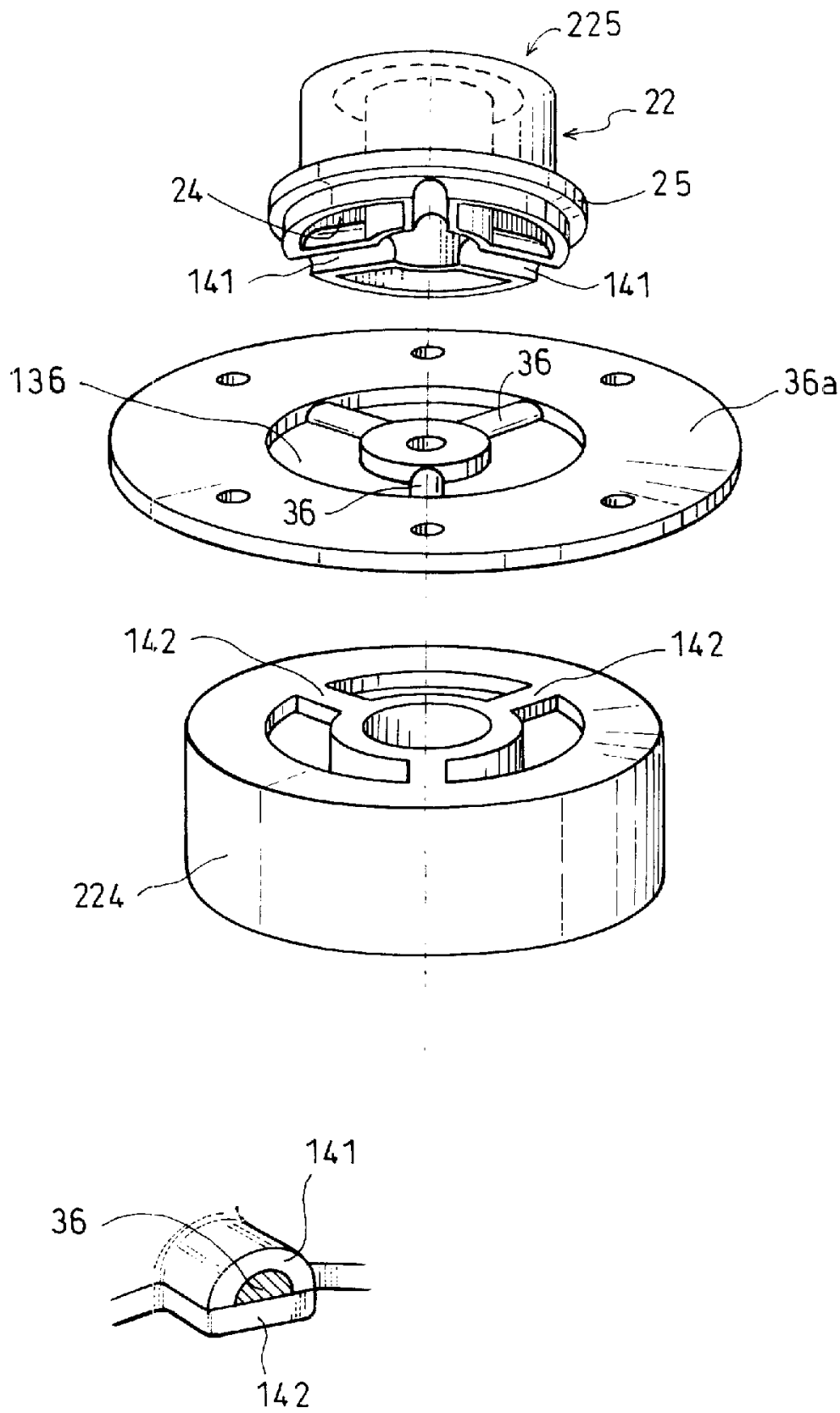
19. Плазменный двигатель по любому из пп.1 - 4, отличающийся тем, что вторые средства подачи ионизируемого газа сообщены с камерой-заглушкой выше анода через звуковое сопло, установленное касательно к наибольшему диаметру камеры-заглушки, для обеспечения создания вихревого потока.

20. Плазменный двигатель по любому из пп.1 - 19, отличающийся тем, что полый катод размещен по оси двигателя внутри трубчатого центрального сердечника и термически изолирован от этого центрального сердечника с помощью изолирующего экрана.

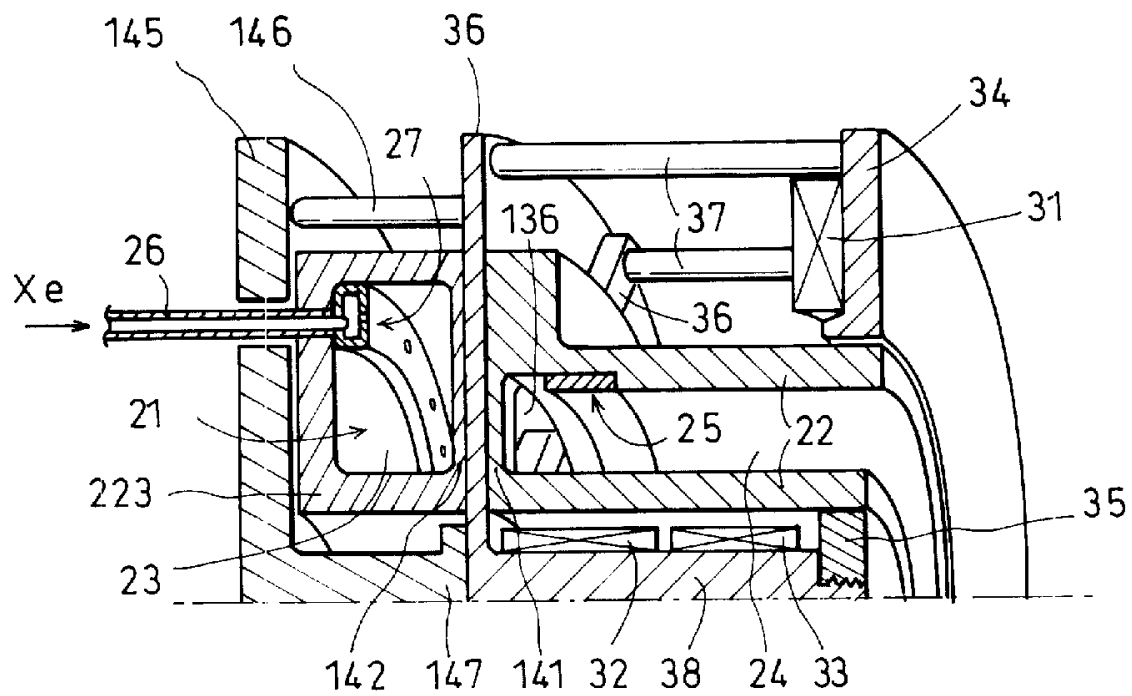


Фиг.2

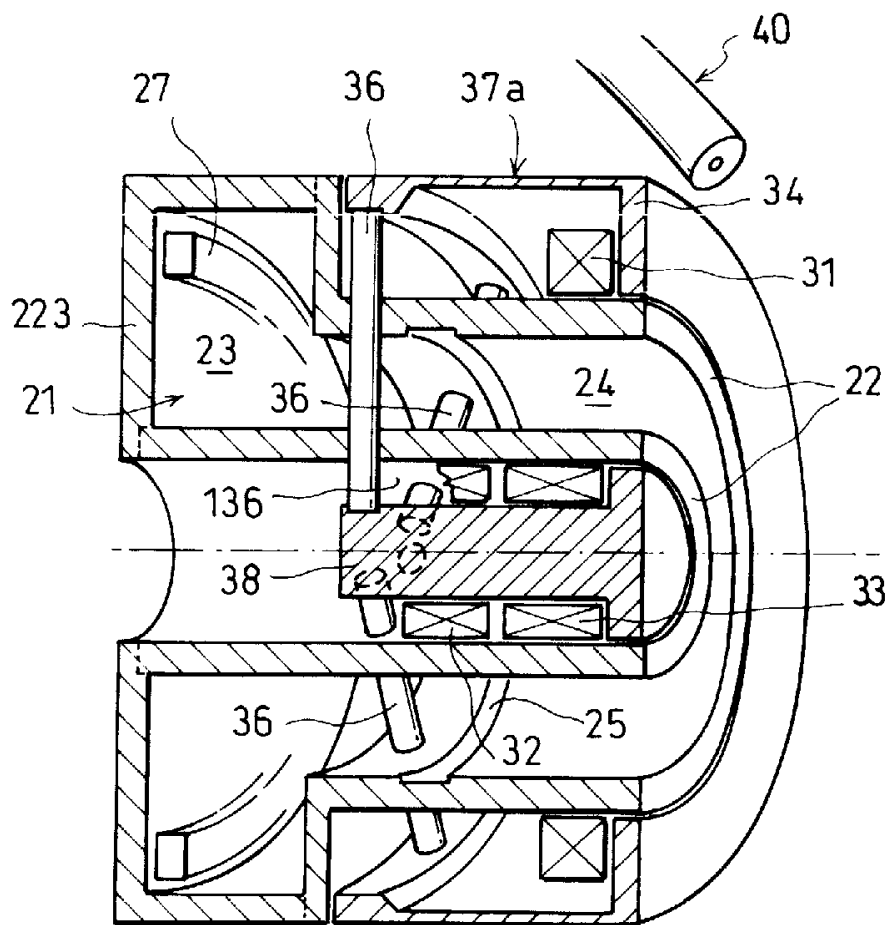




Фиг.3



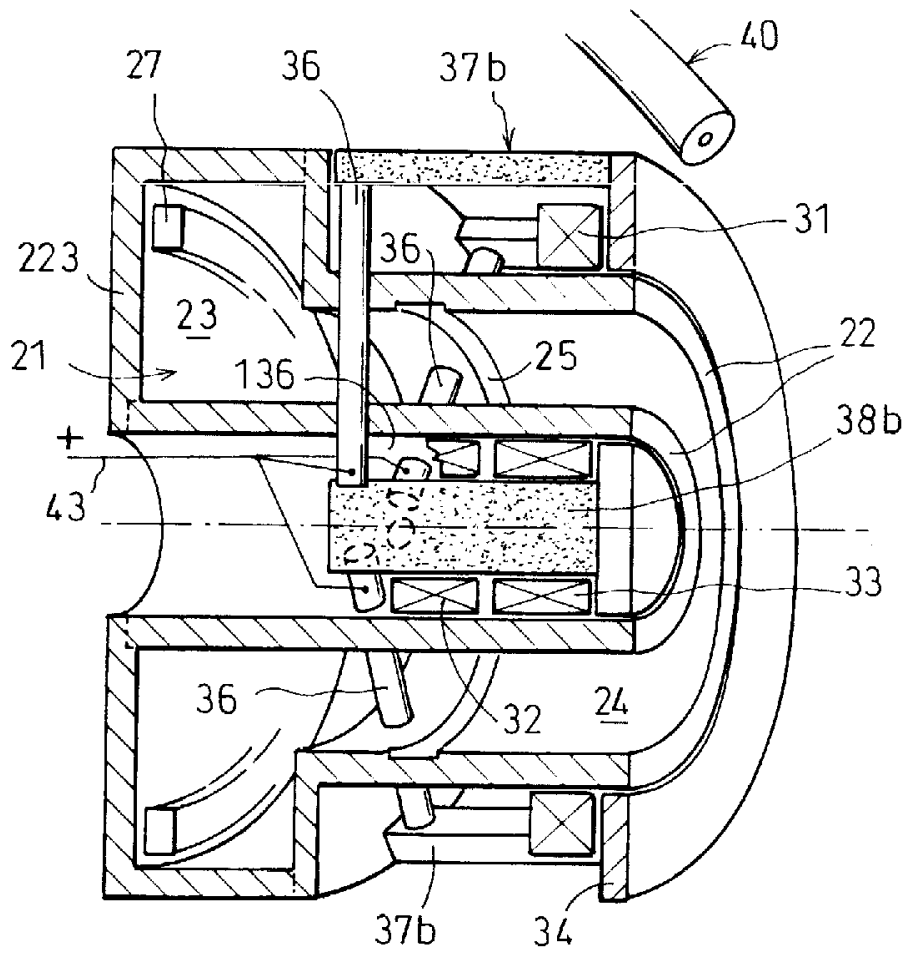
Фиг.4



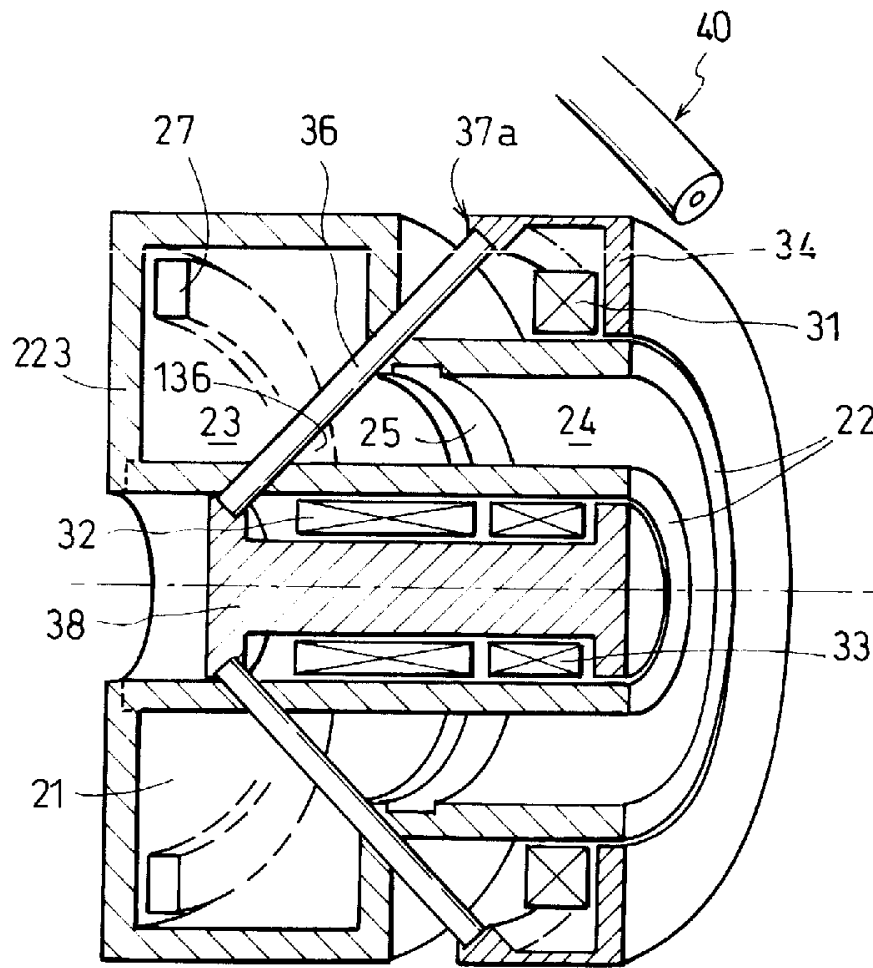
Фиг.5

RU 2107837 C1

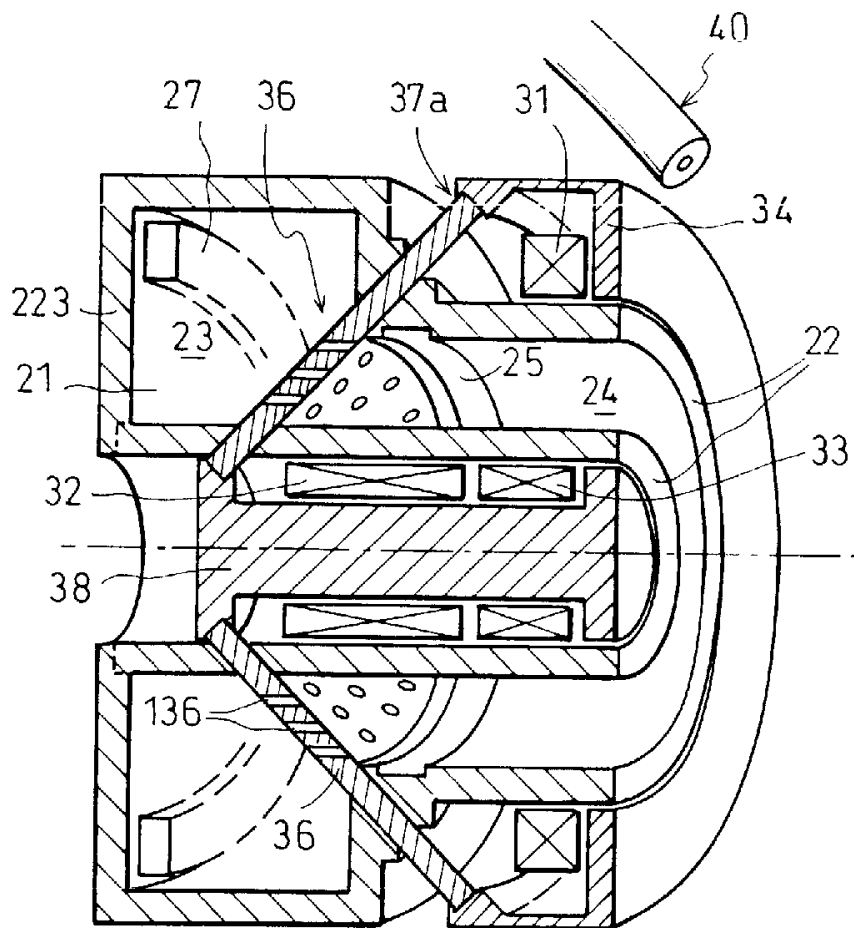
RU 2107837 C1



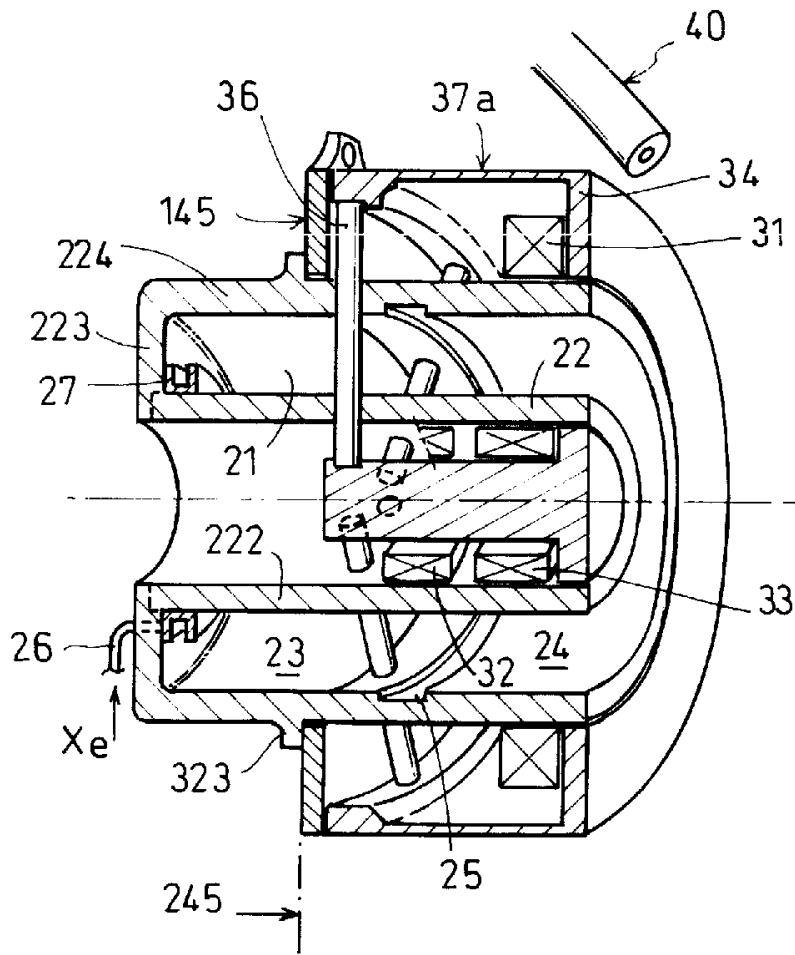
Фиг.6



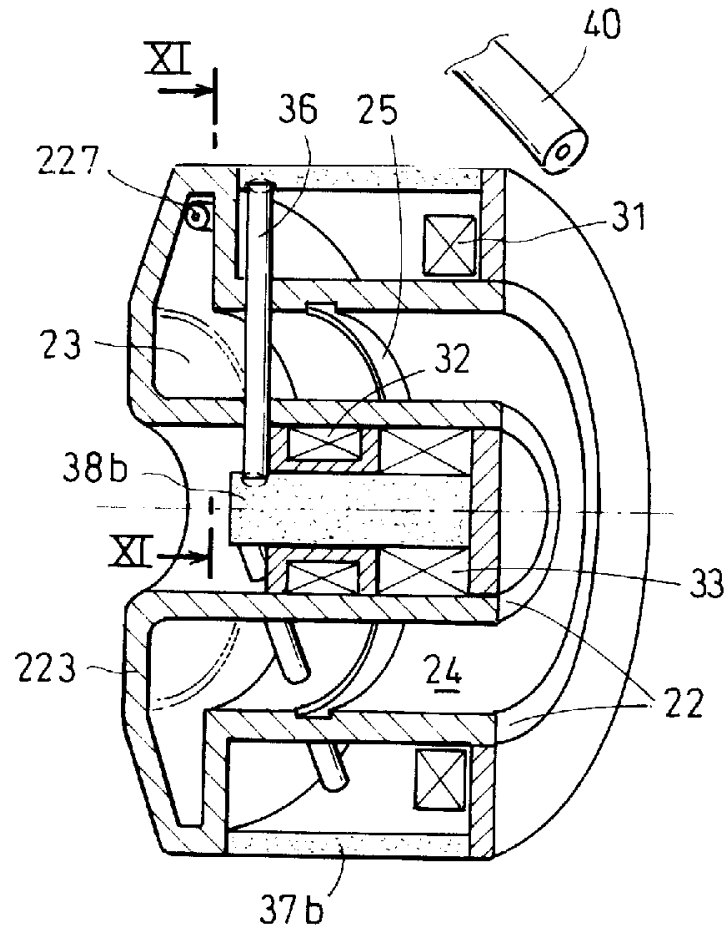
Фиг.7



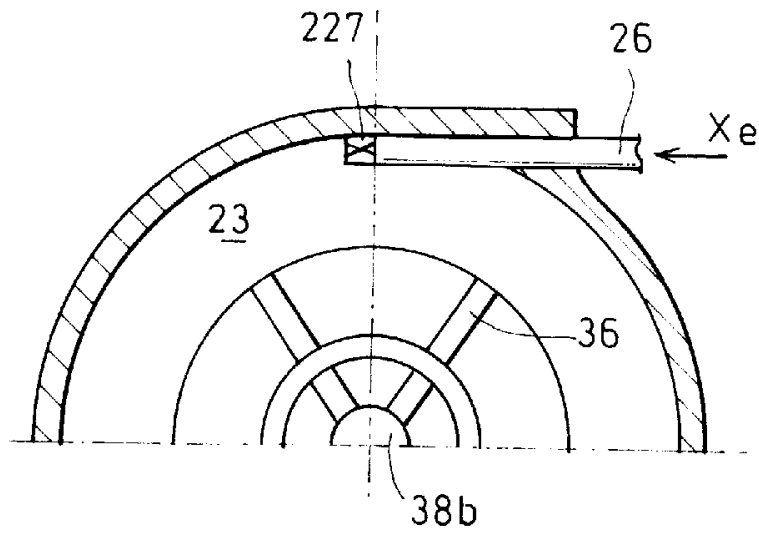
Фиг. 8



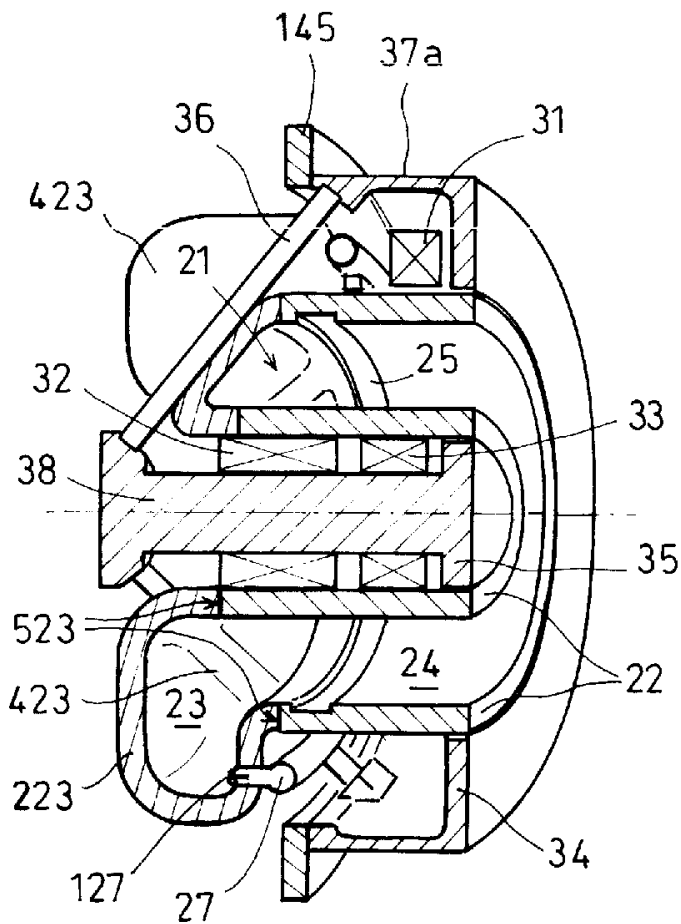
Фиг.9



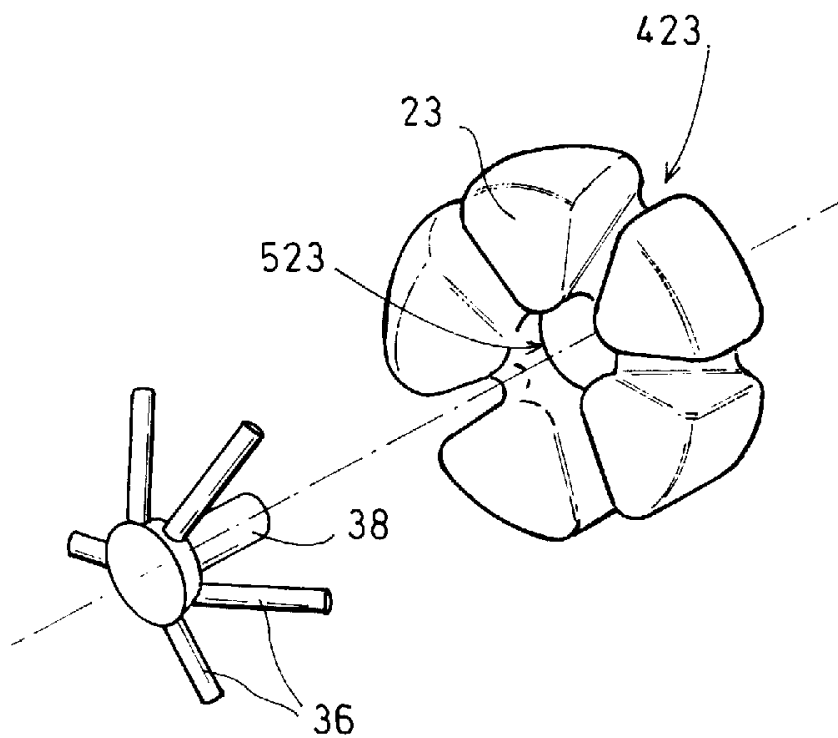
Фиг.10



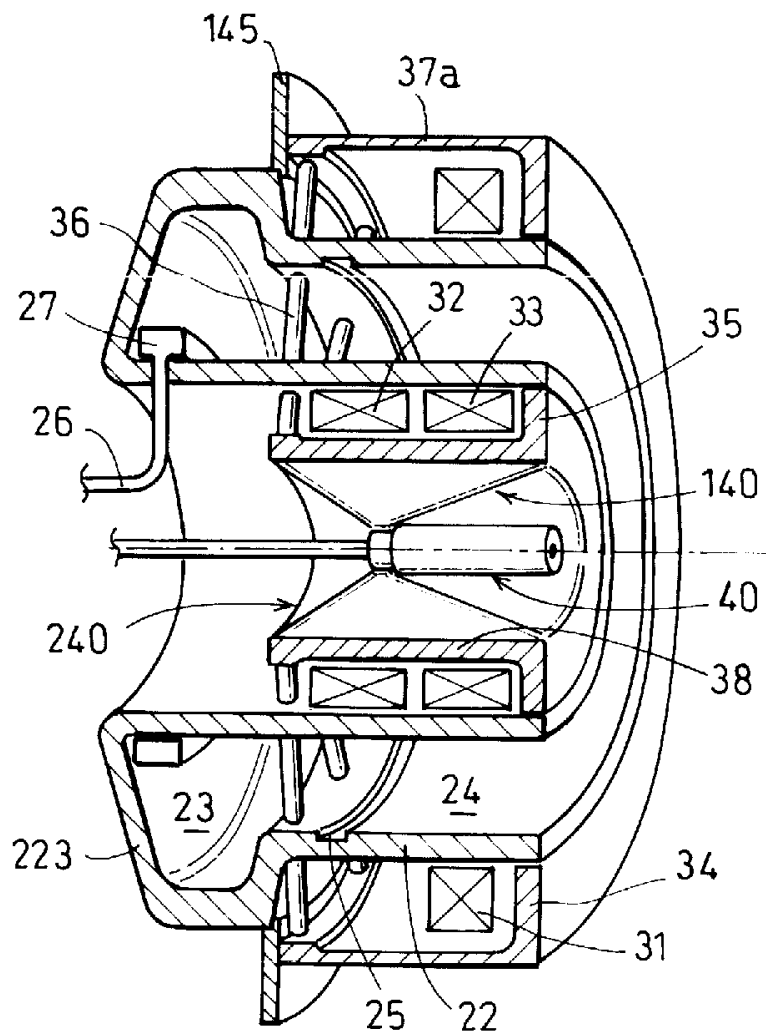
Фиг.11



Фиг.12



Фиг.13



ФИГ.14