

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **038599**(13) **B1**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2021.09.21

(51) Int. Cl. **H01J 35/08** (2006.01)
H01J 35/12 (2006.01)

(21) Номер заявки
202000267

(22) Дата подачи заявки
2020.07.31

(54) РЕНТГЕНОВСКАЯ ТРУБКА ДЛЯ РАДИАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ ОБЪЕКТОВ

(43) **2021.09.20**

(96) **2020000072 (RU) 2020.07.31**

(71)(72)(73) Заявитель, изобретатель и
патентовладелец:

**САРТОРИ АНДРЕЙ
ВЛАДИМИРОВИЧ; МАНЦЕВИЧ
НИКОЛАЙ МАРКОВИЧ (RU)**

(56) CA-A1-2464712
RU-C1-2678326
RU-C2-2237944
US-A1-20090060139
WO-A2-2002045122
WO-A1-2014059139
WO-A1-99050882

(74) Представитель:
Горячкина Т.Г. (RU)

(57) Изобретение относится к области рентгеновского оборудования для производства рентгеновского излучения, в частности это изобретение ориентировано на производство рентгеновских трубок для радиационной обработки объектов и стерилизации продуктов питания. Рентгеновская трубка содержит корпус, полость которого образует вакуумную камеру, расположенные в вакуумной камере источник свободных электронов - катод, фокусирующий электрод и анодный блок, выполненный из корпуса, подложки, на внутренней стороне которой, обращенной к катоду, нанесена мишень, а также каналы подвода и отвода охлаждающей жидкости, расположенные с другой, внешней стороны подложки, при этом каналы подвода и отвода расположены по обе стороны от оси мишени и выполнены сообщающимися между собой. Мишень указанной рентгеновской трубки выполнена в виде тонкопленочной ленты, при этом длина мишени и подложки более чем в 2 раза превышает их ширину, каналы сообщаются не менее чем через одно отверстие, ближняя к оси мишени точка границы которого отстоит от этой оси не более чем на ширину внешней части подложки, при этом ортогональная проекция границ отверстия на плоскость внешней части подложки пересекает хотя бы часть внешней части подложки, а отводящий канал расположен ближе к подложке, чем подводящий канал.

B1**038599****038599****B1**

Изобретение относится к области рентгеновского оборудования для производства рентгеновского излучения и, в частности, к рентгеновской трубке, способной генерировать рентгеновское излучение (РИ) с относительно высокой интенсивностью в диапазоне энергий фотонов, обеспечивающим достаточную степень равномерности поглощенной в обрабатываемом объекте дозы. В частности, это изобретение ориентировано на производство рентгеновских трубок для радиационной обработки объектов и стерилизации продуктов питания. Однако следует понимать, что это изобретение может применяться без изменений в любой другой отрасли.

Из уровня техники известна рентгеновская трубка, содержащая электроизоляционный корпус, внутренняя полость которого образует вакуумную камеру, расположенные в вакуумной камере источник свободных электронов - катод и анод, выполненный из подложки, на стороне которой, обращенной к катоду, нанесена мишень. Рентгеновская трубка также имеет каналы охлаждения анода, ось которых совпадает с осью выхода электронов из катода (WO 2004114353, опубл. 29.12.2002, H01J 35/08, H01J 35/12).

В указанном изобретении массивный анод расположен под углом к оси трубки, в связи с чем РИ генерируется вбок от анода, не проходя через каналы охлаждения анода.

Недостатком известного устройства является невозможность получения высокой интенсивности РИ на обрабатываемом объекте, требуемой для эффективной стерилизации продуктов питания в силу следующих причин:

невозможность обеспечения высокой удельной тепловой мощности, выделяемой при поглощении электронов в мишени (более 10 кВт при внешнем диаметре анодного блока менее 200 мм), требуемой для эффективной стерилизации, т.к. удельная тепловая мощность, выделяемая в фокальном пятне традиционной геометрии, ограничена температурой плавления материала анода и недостаточной эффективностью теплоотвода;

при указанном выводе РИ от мишени в сторону вакуумного объема трубки через боковое окно значительная часть сгенерированного РИ поглощается в массивном аноде (в силу симметричности диаграммы направленности тормозного излучения относительно оси пучка электронов) и не доставляется на обрабатываемый объект, что снижает эффективность преобразования энергии электронного пучка в РИ, участвующее в формировании поглощенной дозы, а, следовательно, также ограничивает ее интенсивность;

каналы охлаждения не проходят через выходное окно, что при высокой интенсивности РИ может привести к перегреву и выходу из строя элементов конструкции выходного окна;

в выходящем из бокового окна РИ присутствует значительная доля фотонов низкоэнергетической части спектра, что приводит к повышенному поглощению энергии РИ в поверхностных слоях обрабатываемого объекта, что, в свою очередь, не позволяет обеспечить в нем необходимую однородность поглощенной дозы.

Из уровня техники известна рентгеновская трубка, содержащая электроизоляционный корпус, внутренняя полость которого образует вакуумную камеру, расположенные в вакуумной камере источник свободных электронов - катод и анод, выполненный из подложки, на стороне которой, обращенной к катоду, нанесена мишень, а также проточные каналы охлаждения подложки (патент US 6463123, опубл. 08.10.2002, МПК G21K 5/00).

Известное решение предназначено, в первую очередь, для стерилизации продуктов питания и дезинфекции объектов. Проблему повышения выхода рентгеновский лучей в известном устройстве решают за счет того, что мишень выполнена из нескольких слоев в виде сэндвича.

Каждый слой мишени выполнен из материала, производящего различный спектр рентгеновского излучения. При этом между указанными слоями, предназначенными для преобразования электронов в рентгеновские лучи, расположены теплопроводящие слои из того же материала, что и подложка.

Каналы охлаждения имеют ячеистую структуру, при этом ось каналов охлаждения выполнена перпендикулярной осям пучка электронов и выходящего рентгеновского излучения. Отводящая часть канала охлаждения выполнена соосно с подводящей его частью и является его продолжением, так что на всем протяжении каналы подвода и отвода находятся на равном расстоянии от плоскости мишени. Вода, используемая в качестве охлаждающей среды, проходит вдоль подложки перпендикулярно оси выхода рентгеновского излучения.

Недостатком известного устройства является невозможность получения высокой интенсивности РИ на обрабатываемом объекте, требуемой для эффективной стерилизации продуктов питания, т.к. термическое сопротивление перехода мишень - подложка в случае протяженной 2-х мерной мишени является достаточно высоким и удельная тепловая мощность, выделяемая в фокальном пятне, ограничена температурой плавления материала анода.

Еще одним недостатком является недостаточно высокая эффективность системы жидкостного теплоотвода от анодного блока, в которой каналы охлаждения направлены перпендикулярно оси пучка электронов и выхода рентгеновского излучения. Такая конструкция при высоких тепловых потоках приводит к появлению паровой прослойки между поверхностным слоем охлаждающей жидкости и анодным блоком, ведущей к существенному снижению эффективности теплоотвода, а следовательно, к ограниче-

нию отводимой тепловой мощности.

По указанным причинам данное техническое решение не обеспечивает требуемую удельную мощность поглощенной дозы в обрабатываемом объекте.

Наиболее близким к заявленному решением является рентгеновская трубка, содержащая корпус, внутренняя полость которого образует вакуумную камеру, расположенные в вакуумной камере источник свободных электронов - катод и анод, выполненный из подложки, на стороне которой, обращенной к катоду, нанесена мишень, а также каналы подвода и отвода охлаждающей среды, при этом каналы подвода и отвода расположены перпендикулярно к оси анода по обе стороны от него один над другим и сообщаются между собой по оси анода, кроме того часть внешней стенки канала выполнена из материала, прозрачного для рентгеновского излучения, (СА 2464712, опубл. 07.08.2003, H01J 35/08, H01J 35/12).

Решение предназначено, в первую очередь, для целей медицинской диагностики костей.

В известном решении мишень, нанесенная на подложку, выполнена из нескольких тонких пленок разного материала, при этом пленки расположены на подложке рядом друг с другом. Каждый материал продуцирует линейчатое рентгеновское излучение различной длины волны.

Однако выполнение мишени таким образом не позволяет достичь интенсивности генерируемого рентгеновского излучения, необходимой для стерилизации продуктов питания, так как тепловая мощность, выделяемая в фокальном пятне на одной из мишеней, ограничена вследствие того, что пассивный теплоотвод на анод ограничен высоким термическим сопротивлением данной конструкции подложки, в том числе ввиду наличия нескольких мишеней, и основной отвод тепла осуществляется системой активного жидкостного охлаждения, не обладающей достаточной мощностью теплоотвода.

В системе охлаждения канал подвода расположен ближе к подложке и содержит разбрызгивающие охлаждающую жидкость сопла.

Охлаждение подложки осуществляется следующим образом. Через каналы подвода подают воду, при этом, проходя через распыляющие сопла по периметру подложки, вода попадает на подложку в виде спрея под небольшим углом скольжения к ее поверхности. После контакта с горячей подложкой часть воды испаряется и отводится от подложки в виде пароводяной смеси. При этом пароводяная смесь выходит по оси по направлению пучка электронов и рентгеновского излучения через сообщение каналов подвода и отвода, то есть рентгеновское излучение проходит через спутный поток пароводяной смеси.

Недостатками такого решения являются невозможность обеспечить требуемую удельную мощность поглощенной дозы в обрабатываемом объекте, а именно:

недостаточно высокая удельная мощность пассивного теплоотвода от мишени на подложку, так как термическое сопротивление перехода мишень - подложка в случае протяженной мишени, ширина которой превышает в несколько раз толщину подложки, является достаточно высоким и удельная тепловая мощность, выделяемая в фокальном пятне, ограничена температурой плавления материала анода;

недостаточно высокая удельная мощность теплоотвода охлаждающей жидкостью, так как мощность отводимого тепла ограничена явлением кризиса теплообмена при образовании паровой прослойки между поверхностью подложки и каплями охлаждающей жидкости, выполненная таким образом мишень не способна отводить тепловую мощность больше 10 кВт при диаметре анодного блока менее 200 мм, следствием чего является невозможность достижения высокой интенсивности РИ на обрабатываемом объекте;

невозможность использования выходного окна или дополнительного фильтра между выходным каналом и выходным окном с целью поглощения низкоэнергетической части спектра РИ, поскольку эффективности выходящей нагретой пароводяной смеси недостаточно для отвода значительной удельной тепловой мощности (сотни Вт/кв.см) от выходного окна и или фильтра. Следствием отсутствия фильтра является наличие значительной доли фотонов низкоэнергетической части спектра в выходящем РИ, что приводит к повышенному поглощению энергии РИ в поверхностных слоях обрабатываемого объекта, что, в свою очередь, не позволяет обеспечить необходимую однородность поглощенной дозы.

Технической задачей настоящего изобретения является создание интенсивного поля на мишени, необходимого для стерилизации продуктов, которое возможно достичь только при решении в совокупности трех задач: повышением эффективности преобразования энергии электронного пучка в выходящее РИ, повышением удельной мощности системы отвода тепла, выделяющегося при торможении электронов в мишени, с одновременным формированием спектра РИ, обеспечивающего равномерность поглощенной в объекте дозы в соответствии с применимыми нормативами.

Достижимым при использовании предлагаемого изобретения техническим результатом является снижение потерь РИ в элементах конструкции трубки, повышение интенсивности теплоотвода, поглощение низкоэнергетической части спектра РИ для обеспечения равномерности поглощенной в объекте дозы.

Технический результат достигается тем, что рентгеновская трубка, содержащая корпус, полость которого образует вакуумную камеру, расположенные в вакуумной камере катод, фокусирующий электрод и анодный блок, выполненный из корпуса, подложки, на внутренней стороне которой, обращенной к катоду, нанесена мишень, а также каналы подвода и отвода охлаждающей жидкости, расположенные с другой, внешней, стороны подложки, при этом каналы подвода и отвода расположены перпендикулярно

к оси анодного блока по обе стороны от него один над другим и сообщаются между собой через отверстие, ближняя к оси мишени точка границы которого отстоит от этой оси не более чем на ширину внешней части подложки, при этом ортогональная проекция границ отверстия на плоскость внешней части подложки пересекает хотя бы часть внешней части подложки, кроме того часть стенки каналов подвода выполнена из материала, прозрачного для рентгеновского излучения, мишень выполнена в виде тонкопленочной ленты, при этом длина мишени и подложки более чем в 2 раза превышает их ширину, а канал отвода расположен ближе к внешней стороне подложки, чем канал подвода.

Кроме того, толщина мишени составляет от 0,5 до 2 пробегов электронов.

Кроме того, подложка выполнена в виде бруса из рентгенопрозрачного материала с поперечным сечением в форме трапеции, при этом ширина внутренней части подложки меньше ширины ее внешней части.

Кроме того, расстояние от внешней поверхности подложки до внешней стенки канала подвода охлаждающей жидкости не более 20 мм.

Кроме того, ширина внутренней части подложки, обращенной к катоду, превышает ширину мишени не более чем на 2 толщины подложки.

Кроме того, ширина отверстия, через которое осуществляется сообщение каналов охлаждения, составляет не более 2 ширин внешней части подложки, при этом соединение каналов может быть выполнено в виде набора отверстий разной формы, а размер таких отверстий в направлении, перпендикулярном оси мишени, не более 2 ширин внешней части подложки.

Кроме того, длина отверстия более 0,5 длины мишени.

Кроме того, каналы отвода выполнены ячеистыми различной формы.

Изобретение поясняется чертежами, где на фиг. 1 изображена рентгеновская трубка (продольный разрез), на фиг. 2 изображена рентгеновская трубка (поперечный разрез, сечение А-А), на фиг. 3 изображена рентгеновская трубка (продольный разрез).

Рентгеновская трубка содержит электроизоляционный корпус 1, полость которого является вакуумной камерой 2. Внутри вакуумной камеры 2 расположены катод 3 - источник свободных электронов 4, фокусирующий электрод 5 и анодный блок, состоящий из корпуса 6, подложки 7, на одну сторону которого, обращенную к катоду 3 (внутреннюю), нанесена мишень 8.

Мишень 8 выполнена в виде ленты из материала с атомным номером Z более 40. Длина мишени 8 более чем в 2 раза превышает ее ширину, а толщина мишени 8 составляет от 0,5 до 2 пробегов электронов. Конструкция мишени 8 в виде ленты обеспечивает малое термическое сопротивление на участке мишень - подложка - анодный блок - канал охлаждения, что подтверждается результатами экспериментальных исследований. Толщина мишени 8 в указанных диапазонах обеспечивает максимальный выход РИ из мишени на единицу энергии электронов в пучке, ввиду того, что по результатам расчетов при толщине мишени менее 0,5 пробегов электронов значительная часть энергии электронов не используется для генерации РИ, а при толщине мишени большей 2 пробегов электронов значительная часть РИ поглощается в самой мишени, при этом оба перечисленных процесса снижают эффективность преобразования энергии электронов в РИ. Ширина внутренней части подложки 7, обращенной к пучку электронов 4, превышает ширину мишени 8 не более чем на 2 толщины подложки с целью уменьшения термического сопротивления на участке мишень - подложка - анодный блок - канал охлаждения. Расчеты показывают, что при значении ширины внутренней части подложки более указанного размера теплоотвод будет осуществляться в основном за счет охлаждения подложки жидкостью, при этом общая интенсивность отводимого тепла снижается.

Для повышения выхода РИ из анодного блока подложка 7 может быть выполнена в виде бруса из рентгенопрозрачного материала с поперечным сечением в форме трапеции, при этом угловой размер выходного окна 6, определяемый как угол между осью мишени и боковой стенкой корпуса анодного блока 6, обращенной к выходящему РИ, может составлять не менее 10° . Длина подложки 7 более чем в 2 раза превышает ее ширину, что по результатам экспериментов обеспечивает высокоинтенсивный теплоотвод от мишени 8.

Рентгеновская трубка также содержит сообщающиеся между собой каналы подвода 9 и отвода 10 охлаждающей жидкости для охлаждения подложки 7. Каналы подвода 9 и отвода 10 расположены по обе стороны от оси мишени друг над другом, при этом ближе к внешней поверхности подложки 7 расположены каналы отвода 10. Сообщение каналов 9 и 10 между собой осуществляется, например, через отверстие 11, ближняя к оси мишени 8 точка границы которого отстоит от этой оси не более чем на ширину внешней части подложки 7, при этом ортогональная проекция границ отверстия 11 на плоскость внешней части подложки 7 пересекает хотя бы часть внешней части подложки 7. При этом при работе устройства охлаждающая жидкость движется навстречу рентгеновскому излучению, которое через выходное окно 13, изготовленное из рентгенопрозрачного материала, выбираемого из группы элементов С, Ве, Аl, Тi с антикоррозионными покрытиями, выполненное из внешней части канала подвода 9. Указанное расположение отверстия обеспечивает формирование струи охлаждающей жидкости на наиболее горячую центральную часть подложки 7, создавая условия для интенсивного отвода тепла от нее. При этом расстояние от внешней поверхности подложки до выходного окна, а при работе устройства - суммарная толщи-

на слоя охлаждающей жидкости, составляет не более 20 мм для обеспечения ее рентгенопрозрачности для части спектра РИ, создающего равномерную поглощенную дозу в стерилизуемом продукте в заданных применимыми стандартами пределах.

Указанное конструктивное расположение каналов подвода 9 и отвода 10 означает, что при работе устройства поток охлаждающей жидкости будет направлен через отверстие 11 к внешней стороне подложки 7, например, по оси мишени 8 так, что выходящее РИ будет проходить через встречный поток жидкости. Таким путем создают турбулентность потока охлаждающей жидкости для улучшения активного охлаждения подложки 7. При этом для повышения активности турбулентности отверстие 11 может быть выполнено в виде набора отверстий разной формы, формирующих поток охлаждающей жидкости преимущественно на центральную часть подложки 7. Размер таких отверстий в направлении, перпендикулярном оси мишени, для избежания образования застойных зон составляет не более 2 ширин внешней части подложки. На внешнюю поверхность подложки 7 может быть нанесен рельеф для увеличения теплообмена между подложкой 7 и охлаждающей жидкостью.

Кроме того, в случае использования воды в качестве охлаждающей жидкости низкоэнергетическая часть спектра РИ, проходящая через встречный поток воды, будет поглощаться в воде. За счет чего будет достигнута равномерность поглощенной дозы в стерилизуемом продукте в пределах применимых стандартов.

Рентгеновая трубка работает следующим образом.

На катод 3 подается напряжение, катод 3 испускает электроны 4, которые под действием ускоряющего и фокусирующего напряжения формируются в плоский пучок, создавая фокусное пятно вдоль лентообразной мишени 8.

Взаимодействуя с мишенью 8, электроны 4 генерируют тормозное и характеристическое рентгеновское излучение. При этом рабочее напряжение на трубке выбирается таким образом, что тормозное РИ генерируется преимущественно вперед по направлению пучка электронов 4.

В мишени 8 выделяется в виде тепла до 99% энергии пучка электронов 4, поэтому в конструкции анодного блока применено специальное техническое решение - выполнение мишени 8 в виде ленты как линейного источника тепла, что дает возможность за счет малого термического сопротивления перехода мишень - подложка достичь рекордных значений теплоотвода до 300 Вт/кв.мм.

При этом мишень 8 выполнена толщиной от 0,5 до 2 пробегов электронов 4, что увеличивает выход РИ за счет баланса генерации и поглощения РИ в мишени такой толщины 8.

Выполнение подложки 7 в виде трапеции с одной стороны повышает выход РИ, выходящего под углом к оси пучка электронов 4, а с другой стороны снижает термическое сопротивление на участке подложка 7 - корпус анодного блока 6, повышая интенсивность теплоотвода с мишени 8.

При этом для достижения увеличения выхода РИ под углом к оси пучка электронов 4 угловой размер выходного окна θ , определяемый как угол между осью мишени и обращенной к ней боковой стенкой 16 отводящего канала 10, составляет не менее 10° с целью снижения поглощения в анодном блоке РИ, выходящего под углом к оси мишени, а ширина внешней части подложки 7 больше ширины мишени 8 более чем в 2 раза. Тормозное рентгеновское излучение при рабочих напряжениях на трубке выходит преимущественно вниз в пределах угла θ , поскольку при углах, превышающих θ , излучение поглощается в стенках корпуса анодного блока, формирующего отводящие каналы. В практической реализации угол θ определяется диаграммой направленности тормозного излучения и может достигать $70-80^\circ$. При этом в пределах угла θ рентгеновское излучение выходит через отверстие 11 и рентгенопрозрачные элементы трубки 12 и 13.

Высокая мощность пучка электронов, необходимая для генерации интенсивного рентгеновского излучения, приводит к сильному нагреву мишени 8, тепло от которой отводится через подложку 7 как пассивно на корпус 6 анодного блока, так и активно с помощью охлаждающей жидкости. Корпус 6 анодного блока в свою очередь охлаждается жидкостью через стенки 16 выходного канала 10. В связи с чем необходимо осуществить высокоинтенсивное жидкостное охлаждение подложки и анодного блока.

Охлаждающая жидкость подводится с торцов канала подвода 9, например, через штуцеры 14, а отводится через штуцеры 15. На участке сообщения каналов подвода 9 и отвода 10 охлаждающая жидкость проходит через отверстие 11 и поднимается вверх к подложке 7. Ввиду того, что отверстие 11 расположено так, что ближняя к оси мишени точка границы отверстия 11 отстоит от этой оси не более чем на ширину половины внешней части подложки 7, поток охлаждающей жидкости направлен преимущественно к центральной, наиболее нагретой части подложки 7, а выходящее тормозное излучение проходит через встречный поток жидкости.

В случае использования для охлаждения воды охлаждающая жидкость выполняет роль фильтра низкоэнергетической части спектра РИ, поглощая фотоны с энергией менее 20-30 кэВ, способствуя тем самым условию создания равномерной поглощенной дозы в обрабатываемом объекте.

Далее охлаждающая жидкость отводит тепло от подложки 7 струей, сформированной отверстием 11, охлаждая ее за счет интенсивного турбулентного движения, а затем удаляется в каналы отвода 10 для охлаждения корпуса 6 анодного блока. При этом удаляется, в том числе и тепло, переданное от мишени 8

к подложке 7 за счет пассивной теплопередачи на корпус 6 анодного блока, а также тепло, выделившееся при поглощении низкоэнергетической части спектра РИ в самой охлаждающей жидкости и выходном окне 13.

Охлаждающая жидкость после контакта с подложкой 7 отводится в сторону по каналам отвода 10, которые могут быть выполнены ячеистыми с целью повышения площади контакта с жидкостью для повышения теплосъема.

Организованное указанным образом перемещение охлаждающей жидкости позволяет максимально отводить тепло от анодного блока, включая мишень 8 и подложку 7, так как самый холодный поток контактирует с наиболее нагретой частью подложки 7, обеспечивая наиболее интенсивный теплообмен в этой области. Т.е. максимальный теплоотвод осуществляется от максимально нагретой части подложки 7.

В результате система охлаждения обеспечивает высокую интенсивность теплоотвода за счет конструкции мишени 8 в виде ленты, а также применения комбинированной системы теплоотвода, реализующей как пассивный теплоотвод от мишени 8 через подложку 7 - корпус 6 анодного блока - стенку канала охлаждения 16, так и прямое активное охлаждение подложки 7 потоком охлаждающей жидкости, идущим навстречу пучку РИ, а также обеспечивающей отвод тепла, выделяющегося от поглощения низкоэнергетической части спектра выходящего РИ.

В результате применения описанных выше мер рентгеновская трубка при электрической мощности 25 кВт и внешнем диаметре до 200 мм может обеспечить удельную мощность дозы в обрабатываемом объекте более 50 Гр/с, что создает предпосылки для ее практического использования в системах стерилизации продукции для получения рекомендованных МАГАТЭ доз 4-6 кГр непосредственно на производственных линиях.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Рентгеновская трубка, содержащая корпус, полость которого образует вакуумную камеру, расположенные в вакуумной камере источник свободных электронов - катод, фокусирующий электрод, анодный блок, подложку, на внутренней стороне которой, обращенной к катоду, нанесена мишень, а также каналы подвода и отвода охлаждающей жидкости, расположенные с другой, внешней стороны подложки, при этом каналы подвода и отвода расположены по обе стороны от оси мишени и выполнены сообщающимися между собой, кроме того часть внешней стенки канала выполнена из материала, прозрачного для рентгеновского излучения, отличающаяся тем, что мишень выполнена в виде тонкопленочной ленты, при этом длина мишени и подложки более чем в два раза превышает их ширину, каналы сообщаются не менее чем через одно отверстие, ближняя к оси мишени точка границы которого отстоит от этой оси не более чем на ширину внешней части подложки, при этом ортогональная проекция границ отверстия на плоскость внешней части подложки пересекает хотя бы часть внешней части подложки, а отводящий канал расположен ближе к подложке, чем подводящий канал.

2. Рентгеновская трубка по п.1, отличающаяся тем, что длина отверстия более 0,5 длины мишени.

3. Рентгеновская трубка по пп.1, 2, отличающаяся тем, что толщина мишени составляет от 0,5 до 2 пробегов электронов при рабочем напряжении на трубке.

4. Рентгеновская трубка по пп.1-3, отличающаяся тем, что подложка выполнена в виде бруса из рентгенопрозрачного материала с поперечным сечением в форме трапеции, при этом ширина внутренней части подложки не более ширины ее внешней части.

5. Рентгеновская трубка по пп.1-4, отличающаяся тем, что ширина внешней части подложки больше ширины мишени более чем в 2 раза.

6. Рентгеновская трубка по пп.1-5, отличающаяся тем, что ширина внешней части подложки не более 6 толщин подложки.

7. Рентгеновская трубка по пп.1-6, отличающаяся тем, что расстояние от внешней поверхности подложки до внешней стенки канала подвода охлаждающей жидкости по оси мишени не более 20 мм.

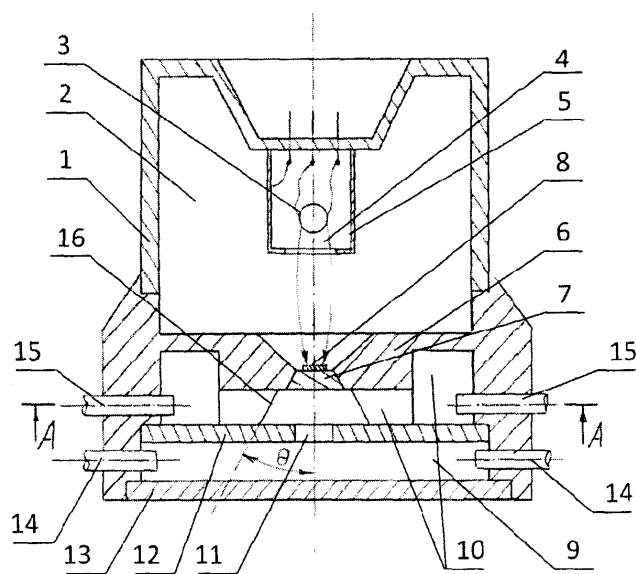
8. Рентгеновская трубка по пп.1-7, отличающаяся тем, что ширина внутренней части подложки превышает ширину мишени не более чем на 2 толщины подложки.

9. Рентгеновская трубка по пп.1-8, отличающаяся тем, что каналы отвода выполнены ячеистыми различной формы.

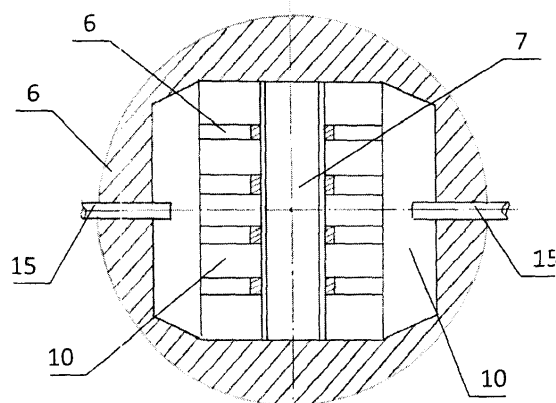
10. Рентгеновская трубка по пп.1-9, отличающаяся тем, что ось отверстия совпадает с осью мишени.

11. Рентгеновская трубка по пп.1-10, отличающаяся тем, что ширина отверстия, через которое сообщаются каналы, не более 2 ширин внешней части подложки.

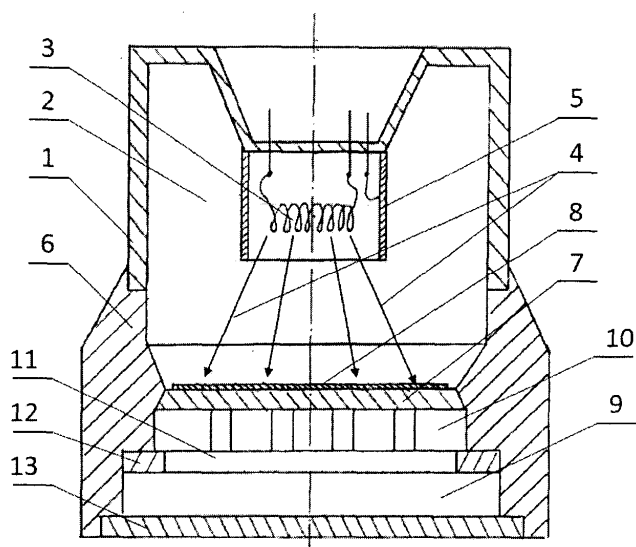
12. Рентгеновская трубка по пп.1-11, отличающаяся тем, что соединение каналов может быть выполнено в виде набора отверстий разной формы, а размер таких отверстий в направлении, перпендикулярном оси мишени, не превышает 2 ширин внешней части подложки.



ФИГ. 1



ФИГ. 2



ФИГ. 3