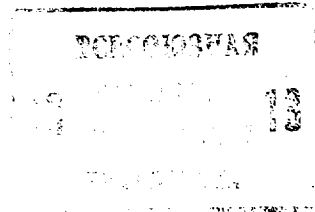




ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР
ПО ДЕЛАМ ИЗОБРЕТЕНИЙ И ОТКРЫТИЙ

ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ

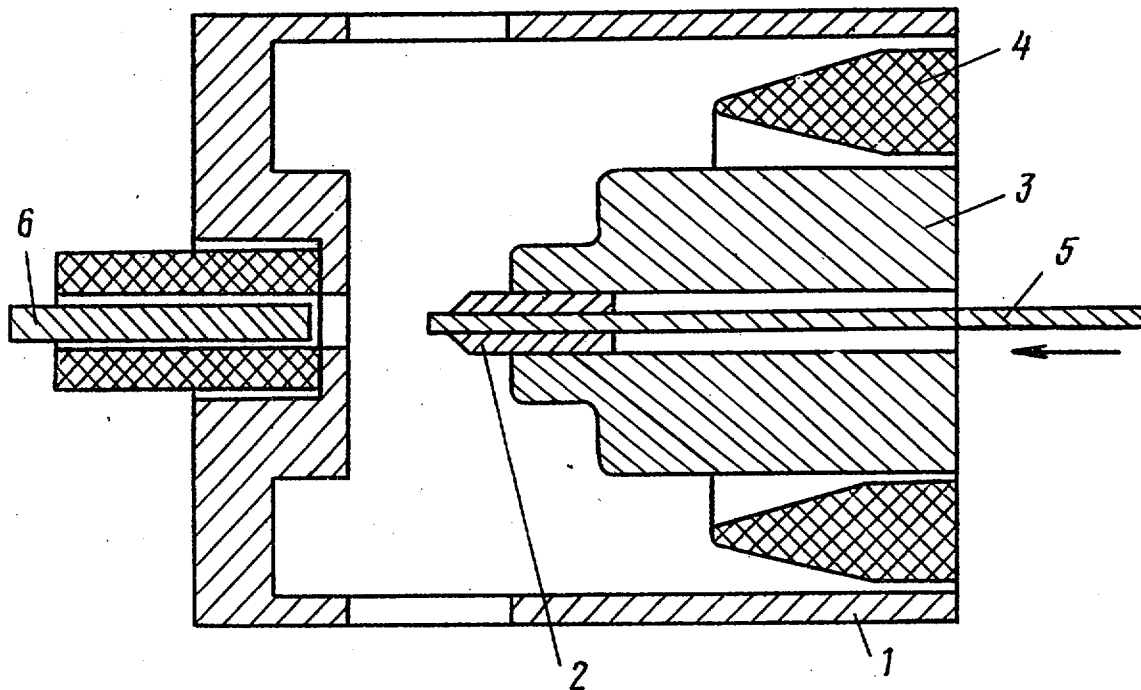


- (21) 3585525/18-25
- (22) 29.04.83
- (46) 23.01.87. Бюл. № 3
- (71) Физический институт им. П.Н.Лебедева
- (72) В.А.Веретенников, О.Н.Крохин и О.Г.Семенов
- (53) 621.386.2(088.8)
- (56) Короп Е.Д. и др. Микропинч в сильноточном диоде. УФН, 1979, т.129(1) с. 87.

Веретенников В.А. и др. Исследование динамики разряда малоиндуктивной вакуумной искры с помощью лазерной теневой методики. - Физика плазмы, 1981, т. 7, вып. 2, с. 455.

(54) (57) ИМПУЛЬСНЫЙ МИКРОПИНЧЕВЫЙ ИСТОЧНИК МЯГКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУ-

ЧЕНИЯ, содержащий анод, заостренный на конце и расположенный в металлической разрядной камере, отличающийся тем, что, с целью повышения ресурса работы и эффективности преобразования электрической энергии в энергию рентгеновского излучения в выбранном диапазоне, анод выполнен в виде полого цилиндра, внутри которого размещен подвижный стержень, диаметр которого составляет 0,1-0,5 внешнего диаметра цилиндра и выступает на 0,2-3 мм над краем анода, причем анод и стержень изготовлены из различных материалов, N-, M-, L- либо K-ионы которых имеют линии излучения в выбранном диапазоне спектра излучения.



Изобретение относится к плазменным источникам рентгеновского излучения и технике сильноточных разрядов в плазме, сжимающейся собственным магнитным полем тока (пинчи), и может быть использовано для производства больших интегральных схем в рентгенолитографии, оптоэлектронных схем с субмикронными размерами, элементов и в кристаллографии.

Известен источник мягкого рентгеновского излучения, называемый малоиндуктивной вакуумной искрой или микропинчевым разрядом, для спектроскопических исследований.

В этом источнике используется линейчатое тепловое излучение высокотемпературной плазмы, образующейся в результате локального пинчевания плазменного канала. При этом в локальной области, называемой плазменной точкой или микропинчем с характерным размером 10^{-3} см образуются ионы высокой кратности ионизации, интенсивно излучающие в рентгеновской области спектра.

Недостатком этих устройств является малый ресурс работы анода (не более 100 разрядов), недостаточная яркость излучения для практических применений, ограниченные возможности варьирования спектрального состава излучения.

Наиболее близким к предложенному источнику является импульсный микропинчевый источник мягкого рентгеновского излучения, содержащий анод, заостренный на конце и расположенный в металлической разрядной камере. КПД преобразования электрической энергии в энергию рентгеновского излучения в диапазоне 0,5–2 нм для стального анода равен $\eta = 0,8\%$ и в десятки раз превышает эффективность лазерно плазменного источника и рентгеновских трубок.

Вследствие быстрой эрозии центральной части анода ресурс источника составляет лишь 100–300 разрядов, после чего необходимо развакуумировать камеру для смены анода. Это является серьезным недостатком для применения его в промышленности и лабораторной практике. Кроме того, необходимость использования дополнительного фильтра, защищающего рентгеновскую маску от плазмы (т.е. дополнительного поглотителя), а также

достижения максимального разрешения при удалении экспонируемого объекта без потери производительности требует повышения эффективности этого источника, что в существующей конструкции оказалось невозможным. Наконец, источник не позволяет широко варьировать спектральные характеристики излучения.

Цель изобретения – повышение ресурса работы и эффективности преобразования электрической энергии в энергию рентгеновского излучения в выбранном диапазоне.

Эта цель достигается тем, что в импульсном микропинчевом источнике мягкого рентгеновского излучения, содержащем анод, заостренный на конце и расположенный в металлической разрядной камере, анод выполнен в виде полого цилиндра, внутри которого размещен подвижный стержень, диаметр которого составляет 0,1–0,5 от внешнего диаметра цилиндра. Один конец стержня выводится из камеры в устройство, обеспечивающее его продольное перемещение. В процессе работы производится продольная подача стержня так, чтобы второй конец выступал на 0,2–3 мм над краем анода. Величина эрозии стержня (экспериментальная) составляет в среднем 0,005–0,02 мм за разряд (в зависимости от используемого материала), компенсирующая эрозии скорость осевого передвижения стержня подбирается экспериментально. Это позволяет увеличить ресурс до 10^4 разрядов и даже больше в зависимости от величины полной подачи стержня. Величина эрозии самого анода (при оптимальном диаметре стержня) не превышает 1/50–1/100 от эрозии стержня, если анод изготовлен из достаточно стойкого материала (сталь, вольфрам). Таким образом, за 10^4 разрядов анод укорачивается на 1–4 мм, что не уменьшает значительно эффективности источника. Когда стержень и анод изготовлены из различных материалов, с целью увеличения эффективности источника и для увеличения ресурса работы из более стойкого материала изготавливается анод. Экспериментально установлено, что положительный эффект (в данном случае увеличение ресурса) достигается, когда диаметр стержня в отверстии в аноде составляет 0,1–0,5 от внешнего диаметра анода, оптималь-

ный диаметр стержня равен 1-1,5 мм при диаметре анода 4 мм. Данная конструкция анода дает возможность использовать комбинацию различных металлов, либо сплавов металлов, либо иных материалов, подобранных с таким расчетом, чтобы N, M, L либо K-ионы соответствующих элементов имели интенсивные (резонансные) линии излучения в диапазоне спектра, выбранном для практического использования. При этом за счет увеличения числа интенсивных линий в данном участке спектра происходит увеличение КПД преобразования электрической энергии в рентгеновское излучение этого диапазона. Например, экспериментально установлено, что комбинация сталь (анод) + алюминий (стержень) увеличивает эффективность на 200% в диапазоне 0,5-2 нм, используемым для рентгенолитографии, по сравнению с анодами, целиком изготовленными из одного из этих материалов. Аналогично можно осуществить подбор рабочих элементов для любого иного участка спектра мягкого рентгеновского излучения. Такая комбинация также увеличивает ресурс работы источника, так как анод изготавливается из более стойкого к эрозии отобранного материала.

Кроме того, подбор различных материалов для анода и стержня позволяет регулировать как спектральный состав излучения внутри заданного диапазона, так и сдвигать или расширять диапазон излучения источника. Например, та же комбинация сталь (анод) + алюминий экспериментально изменила состав излучения в диапазоне 0,5-2 нм по сравнению со сплошным анодом так, что интенсивность жесткого края существенно поднялась за счет излучения K-ионов алюминия. Применение графитового стержня позволило резко увеличить яркость вблизи 4,5 нм (K-спектр углерода), т.е. расширить диапазон в более мягкую область.

На чертеже изображена конструкция предложенного микропинцевого источника мягкого рентгеновского излучения в разрезе.

Источник рентгеновского излучения состоит из металлического корпуса 1, служащего обратным токопроводом, анода 2 с осевым отверстием, закрепленного в анодном держателе 3, кото-

рый, в свою очередь, отделен от корпуса кольцевым изолятором 4.

Центральный стержень 5 проходит через анод, анодный держатель и выводится в устройство для продольной подачи. Иницирование разряда осуществляется триггерным электродом 6. Камера откачивается до давления $\leq 10^{-5}$ мм рт.ст.

Устройство работает следующим образом.

После зарядки основного и вспомогательного триггерного конденсатора на триггерный электрод с помощью коммутирующей схемы подается высоковольтный импульс 10-20 кв. Между триггерным электродом и корпусом камеры возникает разряд. Образовавшаяся плазма вытекает через отверстие в межэлектродное пространство, образуя плазменный катод, из которого вытягиваются электрическим полем электроны, бомбардирующие стержень и анод и вызывающие их эрозию. Облака анодной и катодной плазмы движутся навстречу друг другу, образуя разрядный канал после смыкания. По мере нарастания тока до величины 10^5 А плазменный канал пинчуется до диаметра 1 мм, после чего вблизи заостренной части анода (конца стержня) формируется перетяжка с минимальным радиусом 0,1 мм и характерной длиной 1 мм. Вытекание плазмы из перетяжки в осевом направлении приводит к увеличению температуры плазмы в этой области, увеличивая тем самым степень ионизации плазмы. При этом данный участок оказывается в условиях, когда излучательные потери становятся больше джоулева нагрева, что, в свою очередь, приводит к дополнительному локальному сжатию до размера 10^{-2} мм, увеличению электронной температуры до 1 кэВ и электронной плотности до $10^{22} - 10^{23}$ см⁻³. Эта микропинчевая область существует доли наносекунды, после чего разрушается. Излучение разряда в рентгеновской области спектра практически целиком определяется тепловым (линейчатым) излучением ионов высокой кратности ионизации, образующихся в микропинчевой области в процессе ее образования и разрушения. В целом размер источника не превышает 0,1 мм, однако разброс положения его от разряда к разряду увеличивает эффективный размер источника до 1 мм при оптимальном

соотношении диаметра анода и межэлектродного промежутка.

Использование предлагаемой конструкции комбинированного анода с подвижным центральным стержнем обеспечило получение микропичевой излучающей области в течение до 10^4 последовательных разрядов с эффективностью не хуже 70% при увеличении яркости источника на 100-200% в используемом для рентгенолитографии участке спектра. Комбинации материалов, из которых изготовлены стержень и анод, например сталь (анод) + алюминий (стержень), сталь (анод) + титан (стержень), сталь (анод) + медь (стержень)

сплав ВМБ (анод) + сталь (стержень) практически увеличивают КПД источника в участке 0,5-2 нм, используемом для рентгенолитографии, на 100-200%. При этом происходит изменение спектрального состава излучения в данном диапазоне за счет добавления линий излучения другого элемента. Использование графитового стержня позволило увеличить яркость источника вблизи 4,5 нм, т.е. расширить диапазон в мягкую сторону, причем преобразования электрической энергии в энергию рентгеновского излучения в этом случае (т.е. в диапазоне 1-4,5 нм) достигает 8%.

Редактор С.Титова

Техред Н.Глуценко

Корректор С. Шекмар

Заказ 7740/1

Тираж 698

Подписное

ВНИИПИ Государственного комитета СССР

по делам изобретений и открытий

113035, Москва, Ж-35, Раушская наб., д. 4/5

Производственно-полиграфическое предприятие, г.Ужгород, ул. Проектная, 4