



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,  
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: 2008141193/02, 16.10.2008

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
16.10.2008

(45) Опубликовано: 27.05.2010 Бюл. № 15

(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: Dobrovol'skii A.M., Evsyukov A.N.,  
Goncharov A.A., Protsenko I.M. Cylindrical  
magnetron based on the plasmaoptical principles,  
Problems of Atomic Science and Technology,  
2007, №1. Series; Plasma Physics (13), p.151-  
153. RU 2070944 C1, 27.12.1996. SU 364689 A,  
02.03.1973. RU 2311492 C1, 27.11.2007. US  
5178743 A, 12.01.1993. US 5228963 A,  
20.07.1993.

Адрес для переписки:

634055, г.Томск, пр. Академический, 2/3,  
Институт сильноточной электроники СО  
РАН

(72) Автор(ы):

Работкин Сергей Викторович (RU),  
Соловьев Андрей Александрович (RU),  
Сочугов Николай Семенович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Институт сильноточной электроники СО  
РАН (RU)

## (54) МАЛОГАБАРИТНОЕ МАГНЕТРОННОЕ РАСПЫЛИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО

(57) Реферат:

Изобретение относится к области нанесения покрытий, в частности к малогабаритному магнетронному распылительному устройству обращенного типа, и может найти использование для нанесения тонких пленок металлов и их соединений в вакууме на тонкие проволоки и волокна. Обращенный цилиндрический магнетрон содержит анод, водоохлаждаемый цилиндрический катод, магнитную систему, создающую над

поверхностью катода магнитное поле. Диаметр распыляемого цилиндрического катода составляет 0,5-5 мм, а устройство работает при давлении рабочего газа  $10^1 \div 10^2$  Па и индукции магнитного поля над поверхностью катода 2-10 кГс. Устройство обеспечивает повышение эффективности использования распыленного с катода материала в формировании покрытия посредством значительного уменьшения диаметра цилиндрического катода. 2 ил.



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,  
PATENTS AND TRADEMARKS

(51) Int. Cl.  
*C23C 14/35* (2006.01)  
*C23C 14/56* (2006.01)

**(12) ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: **2008141193/02, 16.10.2008**

(24) Effective date for property rights:  
**16.10.2008**

(45) Date of publication: **27.05.2010 Bull. 15**

Mail address:  
**634055, g.Tomsk, pr. Akademicheskij, 2/3,  
Institut sil'notochnoj ehlektroniki SO RAN**

(72) Inventor(s):

**Rabotkin Sergej Viktorovich (RU),  
Solov'ev Andrej Aleksandrovich (RU),  
Sochugov Nikolaj Semenovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Institut sil'notochnoj ehlektroniki SO RAN (RU)**

**(54) SMALL-SIZE MAGNETRON ATOMISER**

(57) Abstract:

FIELD: metallurgy.

SUBSTANCE: invention refers to application of coating, particularly to small-size magnetron atomiser of inverse type and can be implemented for application of thin films of metals and their compounds in vacuum on thin wires and fibres. The inverse cylinder atomiser consists of an anode, of a water cooled cylinder cathode, of a magnet system generating magnet field over surface of the cathode.

Diametre of the atomised cylinder cathode is 0.5-5 mm, while the device operates at pressure of working gas  $10^1 \div 10^2$  Pa and induction of magnet field over surface of the cathode 2-10 kgf.

EFFECT: facilitating increased efficiency of utilisation of metal atomised from cathode for coating due to significant decrease of diametre of cylinder cathode.

2 dwg

RU 2 390 580 C1

RU 2 390 580 C1

Изобретение относится к области нанесения покрытий, в частности к устройствам магнетронного распыления, и может быть использовано для вакуумного ионно-плазменного нанесения тонких пленок металлов и их соединений в вакууме на тонкие проволочки и волокна.

5 Обычно магнетронные распылительные устройства содержат анод, катод и источник магнитного поля (магнитную катушку или постоянные магниты) [1]. После подачи постоянного напряжения между катодом и анодом в камере зажигается тлеющий разряд. Плазма локализуется у поверхности катода магнитным полем.

10 Электроны двигаются в скрещенных электрическом и магнитном полях над поверхностью катода по сложным циклоидальным траекториям, многократно ионизуя атомы рабочего газа. Образовавшиеся ионы ускоряются в катодном падении потенциала и распыляют поверхность катода. Эмитированные при этом вторичные электроны поддерживают горение разряда. Распыленные атомы материала катода  
15 осаждаются на подложку и формируют покрытие.

Конструкции современных магнетронных распылительных систем весьма разнообразны. Наиболее распространенными из них являются конструкции с  
20 планарными [2] или цилиндрическими [3] катодами. Основным недостатком планарных магнетронов с плоским катодом является то, что эрозия катода происходит в узкой области, ограниченной магнитным полем. Это приводит к низкому коэффициенту использования катода, равному примерно 25%.

Цилиндрические магнетроны обладают рядом преимуществ по сравнению с  
25 планарными. Цилиндрические магнетроны прямого действия содержат трубчатый катод из распыляемого материала, внутри которого располагается магнитная система (при этом распыляется внешняя поверхность катода). Если магнитная система располагается снаружи катода, то распылению подвергается его внутренняя поверхность. Такие магнетроны называются цилиндрическими магнетронами  
30 обращенного типа. За счет цилиндрической формы катода достигается значительно больший коэффициент его использования (от 50 до 90%) [4], улучшается его охлаждение, что позволяет использовать большие уровни мощности, увеличить скорость распыления катода и производительность установки. Достоинством  
35 обращенных магнетронов является высокая эффективность использования распыленного потока, которая определяется как процентное отношение распыленного материала к материалу, используемому в формировании покрытия.

В известных конструкциях обращенных цилиндрических магнетронов внутренние диаметры катодов находятся в пределах 3-20 см [4-6]. Наиболее близким устройством  
40 того же назначения к заявленному изобретению по совокупности признаков является обращенный цилиндрический магнетрон, описанный в [5]. Устройство располагается в вакуумной камере, содержит магнитную систему на основе постоянных магнитов и водоохлаждаемый катод. Цилиндрический катод изготовлен из меди и имеет  
45 следующие размеры: внутренний диаметр 59 мм, внешний диаметр 67 мм и длину 63 мм. Анодная система состоит из двух перемещающихся по оси магнетрона колец, расположенных на торцах катода и изготовленных из немагнитной стали. Диапазон рабочих давлений магнетрона составляет  $10^{-3} \div 10^{-2}$  Торр. Магнитная система создает аксиально-симметричное магнитное поле, индукция которого на оси катода  
50 составляет 650 Гс, а вблизи его поверхности 750 Гс. При давлении аргона  $6 \cdot 10^{-3}$  Торр разрядные напряжение и ток составляли 400 В и 1,25 А, соответственно. Измеренная скорость нанесения меди равнялась 500 нм/мин.

К причинам, препятствующим достижению указанного ниже технического

результата при использовании известного устройства, принятого за прототип, относится неэффективное использование затраченной мощности и распыленного материала при нанесении покрытий на тонкую проволоку (диаметром 80-200 мкм) вследствие большого отношения радиуса этой проволоки и радиуса катода.

5 Технический результат, достигаемый в данном магнетроне обращенного типа, - повышение эффективности использования распыленного материала катода для формирования покрытия на тонких проволоках и волокнах.

10 Указанный технический результат при осуществлении изобретения достигается тем, что в известном магнетронном распылительном устройстве обращенного типа, содержащем в вакуумной камере с рабочим газом анод, водоохлаждаемый цилиндрический катод, магнитную систему, создающую над поверхностью катода магнитное поле, согласно изобретению, цилиндрический катод выполнен размером 15 диаметра 0,5-5 мм, при этом давление рабочего газа в камере составляет  $10^1 \div 10^2$  Па, а индукция магнитного поля над поверхностью катода 2-10 кГс.

Известно, что распыленный материал распространяется от катода по закону косинуса [7]. Тогда можно показать, что, в пренебрежении краевыми эффектами, коэффициент попадания распыленного материала на цилиндрическую подложку, 20 расположенную вдоль оси катода, будет определяться соотношением  $r_s/R_c$ , где  $r_s$  - радиус подложки,  $R_c$  - внутренний радиус катода. Вследствие этого для повышения эффективности работы обращенных магнетронов необходимо уменьшать внутренний диаметр цилиндрических катодов.

25 Трудности, возникающие при уменьшении диаметра распыляемого катода, связаны с тем, что в этом случае размеры электродов и межэлектродные расстояния становятся соизмеримыми или даже меньшими характерных размеров плазмы. В магнетронном разряде электрон за время своего диффузионного движения поперек силовых линий магнитного поля, прежде чем израсходует всю свою энергию на ионизацию атомов 30 рабочего газа, проходит расстояние  $L$ , примерно равное 4 мм. Эти данные получены для напряжения горения разряда 500 В, давления газа 0,2 Па и индукции магнитного поля 400 Гс.

Поэтому для стабильного зажигания магнетронного разряда внутри полого цилиндрического катода с внутренним радиусом, равным единице миллиметров, что 35 на порядок величины меньше, чем у существующих аналогов, необходимо во столько же раз уменьшить расстояние  $L$ , которое проходит от поверхности катода электрон за время своего диффузионного движения до полного израсходования набранной энергии. Для этих целей необходимо на порядок величины увеличивать давление 40 рабочего газа (переходить в форвакуумный диапазон давлений) и индукцию магнитного поля у поверхности катода.

На фиг.1 изображено малогабаритное магнетронное распылительное устройство обращенного типа с цилиндрическим катодом. Устройство содержит медный водоохлаждаемый катод 1 с внутренним диаметром 4 мм и внешним диаметром 6 мм. 45 Анод 2 заземлен и находится в непосредственном контакте с крепежным фланцем 3, с помощью которого магнетрон устанавливается на вакуумную камеру. Охлаждение катода осуществляется проточной водой через отверстия 4 в корпусе 5 магнетрона. Электрическая изоляция магнетрона от вакуумной камеры осуществляется 50 капролоновым фланцем 6. Магнитное поле внутри катода создается постоянным

SmCo магнитом 7 (40×10×4 мм) с отверстием диаметром 6 мм, ось которого совпадает с направлением намагниченности постоянного магнита.

Распределение индукции магнитного поля в радиальном направлении  $R$  от оси

катода к его стенкам представлено на фиг.2. Видно, что распыляемый катод находится в области сильного слабоменяющегося с расстоянием поля величиной более 3 кГс.

5 Устройство работает следующим образом. Постоянный магнит 3 создает над поверхностью катода 2 арочное магнитное поле. После подачи отрицательного постоянного напряжения между катодом 2 и анодом 1 зажигается тлеющий разряд. Плазма локализуется у поверхности катода магнитным полем, которое заставляет электроны двигаться по сложным циклоидальным траекториям над поверхностью  
10 катода, многократно ионизуя атомы рабочего газа. Образовавшиеся ионы ускоряются в катодном падении потенциала, интенсивно распыляя поверхность катода. Часть распыленного материала осаждается на подложку, а оставшаяся часть осаждается на катод и перераспыляется.

15 В качестве образца, на который наносилось медное покрытие, использовалась вольфрамовая проволока диаметром 60 мкм. Проволока пропусклась через уплотнение в верхней части катода, находящейся снаружи вакуумной камеры, катод и расположенное соосно с ним отверстие в аноде.

20 При напряжении горения разряда 400 В, характерном для магнетронного разряда с обычными размерами электродов, ток и мощность разряда равнялись 0,5 А и 200 Вт, соответственно. Длительность непрерывной работы магнетрона на такой мощности равняется 2 часам. После этого глубина распыляемой канавки шириной 4 мм достигает 1 мм.

25 Заявленное устройство предназначено для использования в электронике, химической, строительной и авиакосмической промышленности. Проволоки с покрытием необходимы для замены массивных проволок, например, из Au или Ag. Покрытия с коррозионно-стойкими свойствами (из Ni или коррозионно-стойкой стали) необходимы для защиты стальной проволоки. Для изготовления контактов  
30 необходима медная проволока с покрытием из Mo или W.

В настоящее время для нанесения покрытий на проволоку и волокна диаметром несколько десятков микрон используются только гальванические методы. Магнетронное осаждение покрытий обладает рядом преимуществ по отношению к гальваническому. Оно безопасно для окружающей среды. При этом качество  
35 покрытий, нанесенных в вакууме, выше, чем у гальванических. Они более плотны, не содержат газов и пор, а также обладают более высокой адгезией. Их толщина более равномерна, что позволяет снизить среднюю толщину покрытий без потери их функциональных свойств. Магнетронное распыление позволяет наносить очень  
40 широкий спектр многокомпонентных и многослойных покрытий на любую подложку, даже диэлектрические проволоки и волокна.

#### Источники информации

1. Данилин Б.С., Сырчин В.К. Магнетронные распылительные системы // М.: Радио и связь, 1982, 72 с.
- 45 2. Ананьин П.С., Кривобоков В.П., Легостаев В.Н. Магнетронная распылительная система // Патент РФ №2107971, 1998.
3. Nadel S.J., Greene P., Rietzel J., Perata M., Malaszewski L., Hill R. Advanced generation of rotatable magnetron technology for high performance reactive sputterin // Thin solid films, V.502, 2006, pp.15-21.
- 50 4. Siegfried D.E., Cook D., Glocker D. Reactive Cylindrical Magnetron Deposition of Titanium Nitride and Zirconium Nitride Films // SVC 39th Annual Technical Conference, 1996, pp.97-101.

5. Dobrovolskii A.M., Evsyukov A.N., Goncharov A.A., Protsenko I.M. Cylindrical magnetron based on the plasmaoptical principles // Problems of Atomic Science and Technology, 2007, №1. Series: Plasma Physics (13), p.151-153.

5 6. Страумал Б.Б., Вершинин Н.Ф., Густ В. Нанесение покрытий на проволоку с помощью магнетронного распыления // Материаловедение, 1997, №2, с.42-47.

7. Черезова Л.А. Ионно-лучевые методы в оптической технологии: Учебное пособие. - СПб: СПбГУ ИТМО, 2007. - 151 с.

#### 10 Формула изобретения

15 Малогабаритное магнетронное распылительное устройство обращенного типа для получения покрытий, преимущественно на проволоке или волокне, содержащее размещенные в вакуумной камере с рабочим газом анод, водоохлаждаемый распыляемый цилиндрический катод и магнитную систему, создающую над  
15 поверхностью катода магнитное поле, отличающееся тем, что цилиндрический катод выполнен с внутренним диаметром 0,5-5 мм, при этом давление рабочего газа в камере составляет  $10^1 \div 10^2$  Па, а индукция магнитного поля над поверхностью катода - 2-10 кГс.

20

25

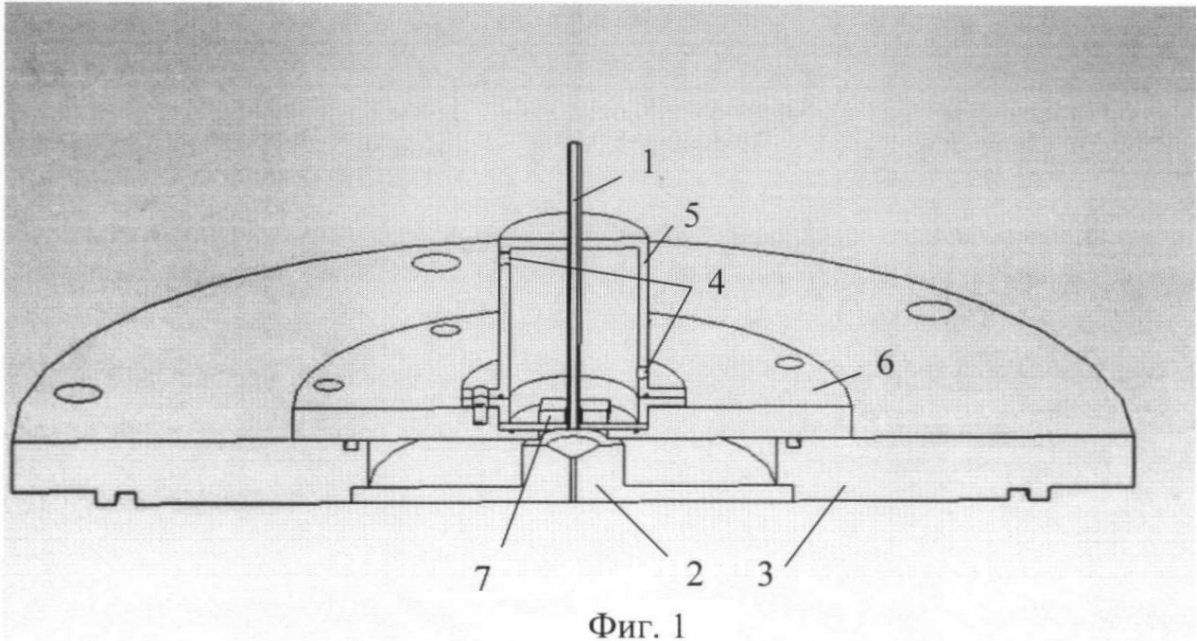
30

35

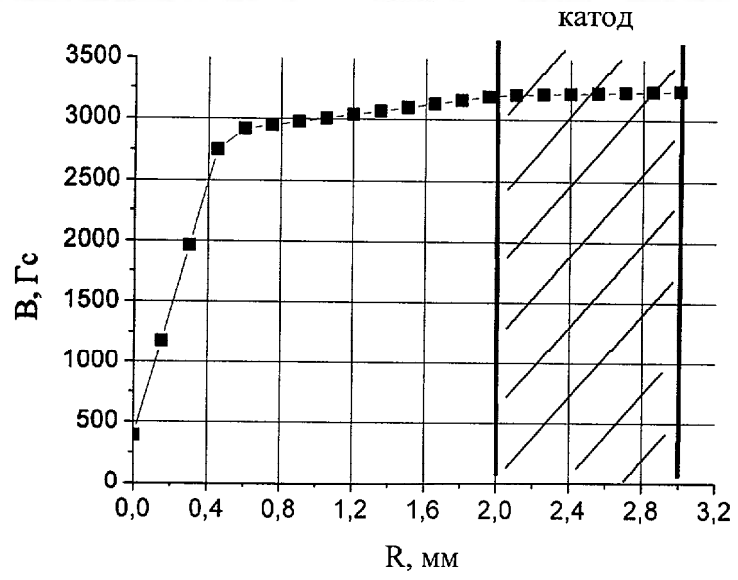
40

45

50



Фиг. 1



Фиг. 2