



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК  
*G01R 19/00* (2020.02)

(21)(22) Заявка: 2019132588, 14.10.2019

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
14.10.2019

Дата регистрации:  
12.01.2021

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 14.10.2019

(45) Опубликовано: 12.01.2021 Бюл. № 2

Адрес для переписки:

390031, г. Рязань, пл. В.Ф. Маргелова, 1,  
Рязанское высшее воздушно-десантное ордена  
Суворова дважды Краснознаменное командное  
училище имени генерала армии В.Ф.  
Маргелова

(72) Автор(ы):

Волков Степан Степанович (RU),  
Николин Сергей Васильевич (RU),  
Пузевич Николай Леонидович (RU),  
Лебедев Сергей Александрович (RU),  
Аристархова Алевтина Анатольевна (RU),  
Тимашев Михаил Юрьевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное казенное  
военное образовательное учреждение  
высшего образования "Рязанское гвардейское  
высшее воздушно-десантное ордена  
Суворова дважды Краснознаменное  
командное училище имени генерала армии  
В.Ф. Маргелова" Министерства обороны  
Российской Федерации (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: RU 89709 U1, 10.12.2009. US  
20090146054 A1, 11.06.2009. US 20140252222 A1,  
11.09.2014. US 5493115 A1, 20.02.1996. RU  
2193769 C2, 27.11.2002. SU 1345939 A1,  
07.07.1991.

## (54) УСТРОЙСТВО ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНТАКТНОЙ РАЗНОСТИ ПОТЕНЦИАЛОВ

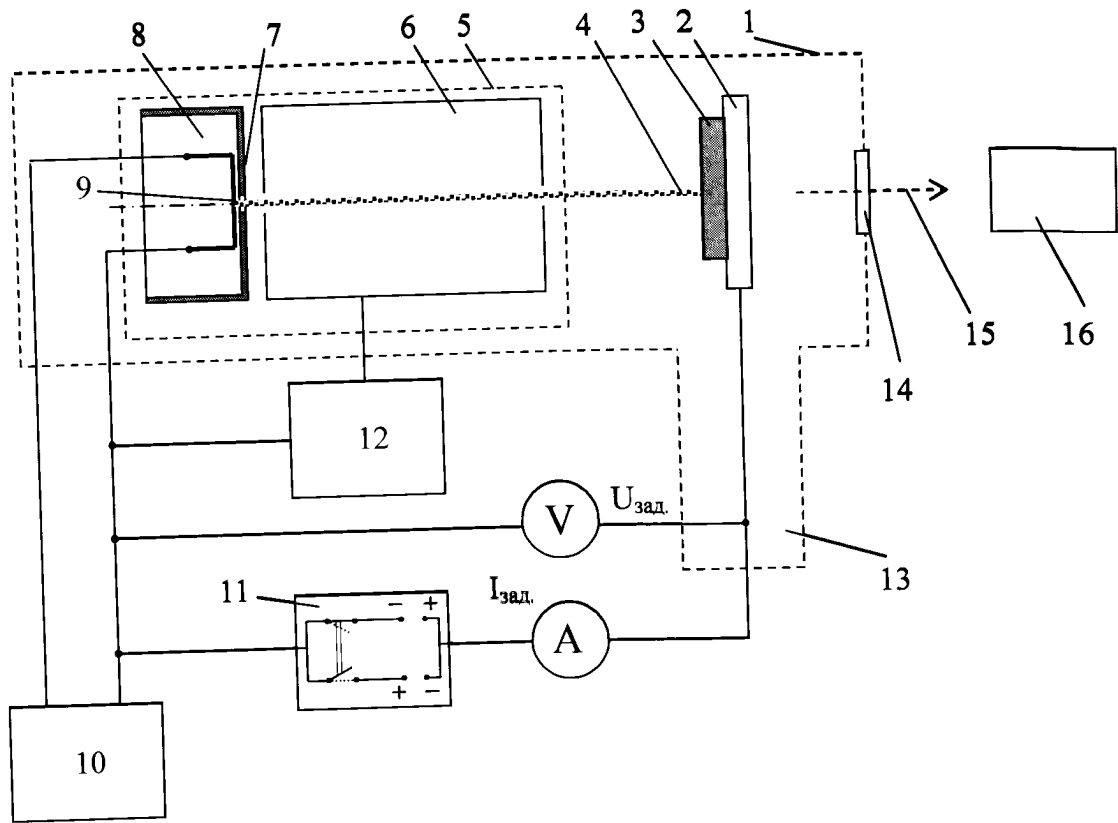
(57) Реферат:

Изобретение относится к измерительной технике, в частности к физико-аналитическому оборудованию по исследованию и контролю свойств поверхности материалов в вакууме, а также для контроля характеристик межфазных границ, и может быть использовано в технологии производства пленочных систем, в электрохимии, в материаловедении. Технический результат направлен на повышение достоверности и точности результатов определения контактной разности потенциалов. Устройство измерения контактной разности потенциалов содержит электронную пушку с формирователем электронного пучка и с катодным узлом, состоящим из катода и модулятора с диафрагмой,

внутри которого расположен катод, а также держатель измеряемого объекта, источник питания пушки, источник напряжения с переключаемой полярностью выходного напряжения, измеритель напряжения, соединенный с держателем измеряемого объекта и с катодом электронной пушки, измеритель тока между держателем объекта и катодом электронной пушки. Для достижения технического результата катод электронной пушки выполнен из плоской ленты, шириной больше диаметра отверстия диафрагмы модулятора и расположенной параллельно плоскости диафрагмы модулятора на расстоянии меньше диаметра отверстия диафрагмы, а

формирователь электронного пучка содержит не

менее четырех электродов линзовых систем. 1 ил.



RU 2740176 C1

RU 2740176 C1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC  
*G01R 19/00 (2020.02)*

(21)(22) Application: **2019132588, 14.10.2019**

(24) Effective date for property rights:  
**14.10.2019**

Registration date:  
**12.01.2021**

Priority:

(22) Date of filing: **14.10.2019**

(45) Date of publication: **12.01.2021 Bull. № 2**

Mail address:

**390031, g. Ryazan, pl. V.F. Margelova, 1,  
Ryazanskoe vysshee vozdushno-desantnoe ordena  
Suvorova dvazhdy Krasnoznamennoe komandnoe  
uchilishche imeni generala armii V.F. Margelova**

(72) Inventor(s):

**Volkov Stepan Stepanovich (RU),  
Nikolin Sergej Vasilevich (RU),  
Puzevich Nikolaj Leonidovich (RU),  
Lebedev Sergej Aleksandrovich (RU),  
Aristarkhova Alevtina Anatolevna (RU),  
Timashev Mikhail Yurevich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federalnoe gosudarstvennoe kazennoe voennoe  
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego  
obrazovaniya "Ryazanskoe gvardejskoe vysshee  
vozdushno-desantnoe ordena Suvorova dvazhdy  
Krasnoznamennoe komandnoe uchilishche  
imeni generala armii V.F. Margelova"  
Ministerstva oborony Rossijskoj Federatsii (RU)**

(54) **CONTACT POTENTIAL DIFFERENCE DETERMINING DEVICE**

(57) Abstract:

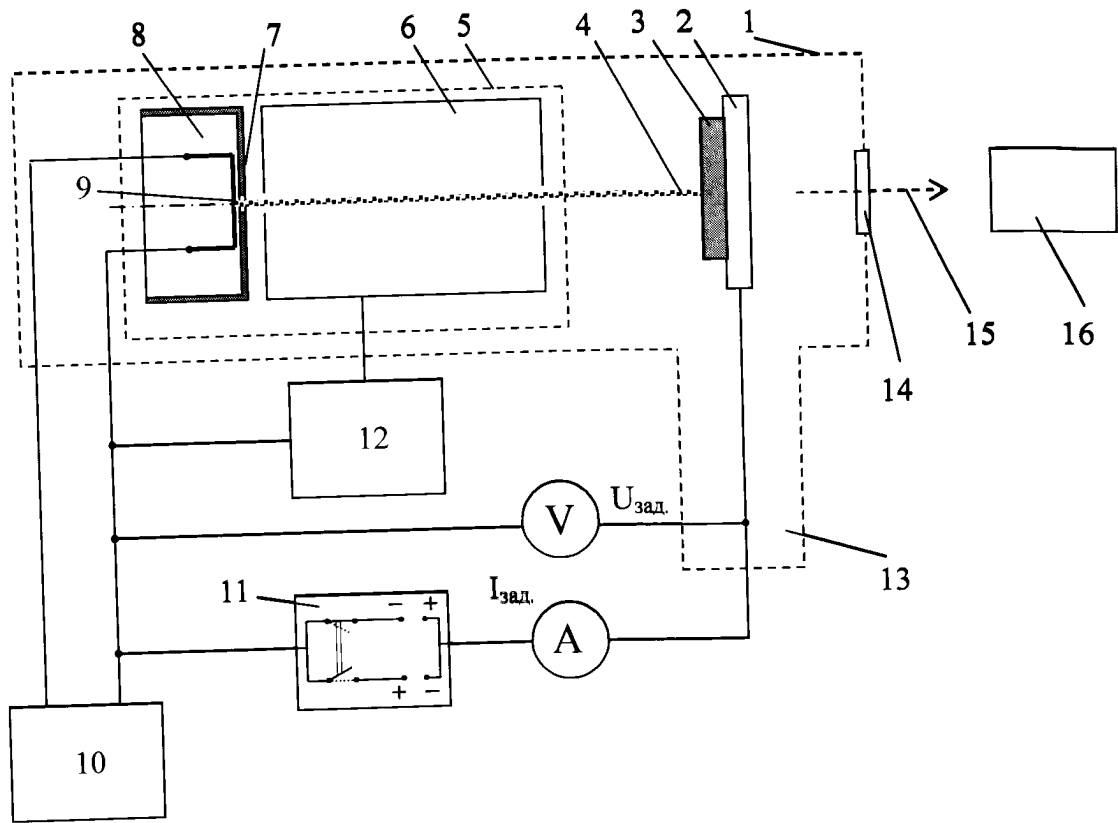
FIELD: measurement.

SUBSTANCE: invention relates to measurement equipment, in particular to physical and analytical equipment for investigation and monitoring of surface properties of materials in vacuum, as well as for monitoring characteristics of interphase boundaries, and can be used in production of film systems, in electrochemistry, in material science. Device for measuring contact potential difference comprises an electron gun with an electron beam former and with a cathode assembly consisting of a cathode and a modulator with a diaphragm, inside which there is a cathode, as well as a holder of the measured object, a gun power supply, a voltage source with switched polarity of the output voltage, a voltage meter connected

to the holder of the measured object and to the cathode of the electron gun, a current meter between the object holder and the electron gun cathode. To achieve the technical result, the cathode of the electron gun is made of a flat tape with a width greater than the diameter of the opening of the diaphragm of the modulator and located parallel to the plane of the diaphragm of the modulator at a distance less than the diameter of the opening of the diaphragm, and the electron beam former contains not less than four electrodes of the lens systems.

EFFECT: technical result is aimed at improvement of reliability and accuracy of results of contact potential difference determination.

1 cl, 1 dwg



Предполагаемое изобретение относится к области физико-аналитического оборудования для исследования и контроля свойств поверхности материалов, а также для контроля характеристик межфазных границ и может быть использовано в технологии производства пленочных систем, в электрохимии, в материаловедении.

5 Известно устройство определения контактной разности потенциалов. [Zisman W. Rev. Sci. Instr., 3, 367 (1932). Цитир. по: Царев Б.М. Контактная разность потенциалов и ее влияние на работу электровакуумных приборов. М. - Л.: ГИТТЛ, 1949. 171 с. (С. 92). Kelvin (В. Томсон). Phil. Mag., XLVI, 82 (1898). Цитир. по: 1384\_ Царев Б.М. Контактная разность потенциалов и ее влияние на работу электровакуумных приборов.  
10 М. - Л.: ГИТТЛ, 1949. 171 с. (С. 87)].

Известное устройство называют устройством с вибрирующим зондом. Его работа построена на вибрации измерительного электрода над измеряемой поверхностью и создания наведенного тока за счет вибрации и наличия контактной разности потенциалов. Известный способ обладает невысокой точностью из-за нестабильности  
15 величины изменения емкости при вибрации особенно в случае пленочных поверхностных систем в вакууме.

Наиболее близким к предполагаемому изобретению является устройство измерения контактной разности потенциалов, содержащее электронную пушку с формирователем электронного пучка и с катодным узлом, состоящим из катода и модулятора с  
20 диафрагмой, внутри которого расположен катод, а также держатель измеряемого объекта, источник питания пушки, источник напряжения с переключаемой полярностью выходного напряжения, измеритель напряжения, соединенный с держателем измеряемого объекта и с катодом электронной пушки, измеритель тока между держателем объекта и катодом электронной пушки [Добрецов Л.Н., Гомоюнова М.В. Эмиссионная  
25 электроника. - М.: Наука. 1966. 564 с.].

В известном устройстве включают электронную пушку, задают ускоряющее напряжение в несколько десятков Вольт и направляют электронный пучок на поверхность объекта (далее измеряемого объекта), образующего контактную разность потенциалов с катодом пушки, подлежащую измерению. Уменьшая ускоряющее  
30 напряжение между катодом пушки и держателем объекта, измеряют ток объекта и напряжение между катодом и объектом, регистрируют кривую задержки. Ускоряющее напряжение может переходить в тормозящее, задерживающее напряжение; ток при этом регистрируют до уменьшения до нуля.

Затем получают зависимость  $\ln I_{\text{зад}} = f(U_{\text{зад}})$ , интерполируют в виде прямых  
35 спадающий участок (участок задержки) и участок при больших токах и напряжениях (участок насыщения), а затем эти прямые экстраполируют до точки пересечения друг с другом. Координата этой точки по оси напряжения задержки принимается за значение напряжения контактной разности потенциалов  $U_{\text{КРП}}$ .

В известном устройстве не определены условия получения нужной формы и угла наклона спадающего участка кривой задержки. Не определены конструкционные  
40 требования к катодному узлу источника электронного пучка, обеспечивающие работу катода в режиме насыщения и соответственно максвелловский разброс электронов по скоростям в пучке. Режим насыщения катода обеспечивает прямолинейность логарифмической функции тока задержки. В известных устройствах из-за отсутствия  
45 конструкционных условий в катодном узле электронный пучок формируется из пространственного заряда около катода и имеет большой разброс по скоростям. Кроме того распределение электронов по скоростям в пучке из пространственного заряда не максвелловское, и логарифмирование тока задержки не дает прямую линию. Из-за

непрямолинейной экстраполяция спадающего участка координата по напряжению точки пересечения при экстраполяции спадающего и максимального участков тока оказывается существенно неопределенной. Погрешность определения может превышать измеряемую величину. Недостатком известного устройства является отсутствие контроля

5 достоверности получаемого результата и погрешности измерения.

Технический результат направлен на повышение достоверности и точности результатов определения контактной разности потенциалов.

Технический результат достигается тем, что в устройстве измерения контактной разности потенциалов, содержащем электронную пушку с формирователем

10 электронного пучка и с катодным узлом, состоящим из катода и модулятора с диафрагмой, внутри которого расположен катод, а также держатель измеряемого объекта, источник питания пушки, источник напряжения с переключаемой полярностью выходного напряжения, измеритель напряжения, соединенный с держателем измеряемого объекта и с катодом электронной пушки, измеритель тока между держателем объекта

15 и катодом электронной пушки, при этом катод электронной пушки выполнен из плоской ленты, шириной больше диаметра отверстия диафрагмы модулятора и расположенной параллельно плоскости диафрагмы модулятора на расстоянии меньше диаметра отверстия диафрагмы, а формирователь электронного пучка содержит не менее четырех электродов линзовых систем.

20 На чертеже приведена функциональная схема устройства для измерения контактной разности потенциалов (далее - устройство).

Устройство содержит вакуумный корпус 1; держатель объекта 2; исследуемый (измеряемый) объект 3; электронную пушку 5, формирующую зондирующий электронный пучок 4; формирователь 6 электронного пучка 4; катодный узел 8, с

25 модулятором 7 и с катодом 9; источник накала катода 10; источник ускоряющего-задерживающего напряжения 11 (далее - задерживающего напряжения); источник питания 12 пушки 5; измеритель (А) тока в цепи катода 9 пушки 5 и измеряемого объекта 3, измеритель (V) напряжения, соединенный между катодом 9 пушки и измеряемым объектом 3. Вакуумный корпус 1 содержит боковой объем 13 для отвода держателя 2 с объектом 4 от линии прямой видимости катода 8 и оптическое окно 14. Устройство

30 содержит также пирометр 16. При отводе держателя 2 в объем 13 пирометром 16 регистрируется световое излучение 15 катода 8 через окно 14. Температура катода может измеряться термопарой или определяться по току накала катода. Источник задерживающего напряжения 11 с помощью сдвоенных источников и переключателей

35 позволяет менять полярность напряжения с ускоряющего на задерживающее напряжение и регистрировать кривую задержки последовательно при ускоряющем и тормозящем потенциалах для электронного луча 4. Полярность напряжения можно изменять также переключателем полярности одинарного источника.

Измерение контактной разности потенциалов производится следующим образом.

40 Источником 10 включается накал катода 9. Источником 12 устанавливаются напряжения электродов формирователя электронного пучка 4. Источником питания 11 устанавливается ускоряющее напряжение более 20 В. Источником питания 12 устанавливается напряжение выходного электрода формирователя 6 не более 10-15 В, что уменьшает влияние на результаты измерений вторичной эмиссии с объекта и

45 третичной эмиссии с электрода формирователя 6.

На первом электроде формирователя 6 и на модуляторе 8 устанавливаются потенциалы, обеспечивающие работу катода 8 в режиме насыщения тока эмиссии электронов, из которых формируется электронный пучок 4. Режим насыщения

корректируется также напряжением накала источником 10. Далее регистрируется кривая задержки при уменьшении источником 12 ускоряющего напряжения с переходом на тормозящее напряжение. Измерения напряжения задержки и тока объекта производятся с помощью измерителей (V) и (A) соответственно в пределах до полного исчезновения тока, а именно, до уменьшения тока от максимального значения не менее, чем на два порядка. Информативный участок спадающей части тока задержки начинается с уровня тока  $0.1 I_{\text{макс}}$  и ниже.

После снятия первичной зависимости  $I_{\text{зад}}=f(U_{\text{зад}})$ , ее логарифмируют в виде  $\ln I_{\text{зад}}=f(U_{\text{зад}})$ . Полученная функция имеет прямолинейный участок с постоянной величиной тока  $I_{\text{зад}}$ , равной току электронного пучка при больших ускоряющих напряжениях и участок с уменьшающимся значением  $\ln I_{\text{зад}}$  в виде наклонной прямой. Прямолинейность спадающего участка обеспечивается максвелловским разбросом электронов в пучке, формирующим экспоненциальное уменьшение тока задержки при линейном увеличении напряжения задержки по зависимости  $I_{\text{зад}}=I_{\text{макс}}\exp(-eU_{\text{зад}}/2kT_{\text{к}})$ , где  $I_{\text{зад}}$  - ток задержки,  $I_{\text{макс}}$  - ток электронного пучка пушки,  $e$  - заряд электрона,  $U_{\text{зад}}$  - напряжение задержки,  $k$  - постоянная Больцмана,  $T_{\text{к}}$  - температура катода. Графической или аналитической экстраполяцией этих участков получают точку пересечения линий экстраполяции, координата которой по оси напряжения задержки равна контактной разности потенциалов  $U_{\text{зад}}=U_{\text{КРП}}$ .

Далее производится проверка достоверности результатов и определение погрешности измерений. Достоверность проверяется по углу наклона и степени прямолинейности спадающего участка логарифма кривой задержки. Для этого после снятия кривой задержки измеряют пирометром температуру катода  $T_{\text{к.пир}}$ . Далее определяют температуру катода  $T_{\text{к}}$  по спадающему участку кривой задержки с использованием зависимости  $I_{\text{зад}}=I_{\text{макс}}\exp(-eU_{\text{зад}}/2kT_{\text{к}})$ , из которой получается зависимость  $\ln(I_{\text{зад}}/I_{\text{макс}})=-eU_{\text{зад}}/2kT_{\text{к}}=(-e/2kT_{\text{к}})U_{\text{зад}}$ . Отсюда температура катода равна  $T_{\text{к}}=(-eU_{\text{зад}}/2k)/\ln(I_{\text{зад}}/I_{\text{макс}})$ . По экспериментальной зависимости температура определяется как производная функции на спадающем участке или лучше как усредненное изменение по двум точкам спадающего участка зависимости:  $\ln(I_{\text{зад}}/I_{\text{макс}})=-eU_{\text{зад}}/2kT_{\text{к}}=(-e/2kT_{\text{к}})U_{\text{зад}}$ . По аналогии с уравнением прямой типа  $y=sx$ , величина

$$2kT_{\text{к}}/e=-(\ln(I_{\text{зад}1}/I_{\text{макс}})-\ln(I_{\text{зад}2}/I_{\text{макс}}))/(U_{\text{зад}1}-U_{\text{зад}2}), \text{ или}$$

$$T_{\text{к}}=(e/2k)(\ln(I_{\text{зад}1}/I_{\text{макс}})-\ln(I_{\text{зад}2}/I_{\text{макс}}))/(U_{\text{зад}2}-U_{\text{зад}1}).$$

Если  $T_{\text{к}}<T_{\text{к.пир}}$ , то спадающий участок кривой задержки зарегистрирован не в режиме насыщения тока эмиссии катода пушки и проходит по закону «степени трех вторых», логарифм функции которой не является прямой. Поэтому экстраполяция приводит к погрешности как из-за малого наклона, так и из-за линейной экстраполяции нелинейной функции. Корректировкой режима работы катодного узла и первого электрода формирователя пучка, называемого экстрактором, подбирается режим работы пушки, когда температура катода, определенная по кривой задержки, совпадает с температурой, измеренной пирометром  $T_{\text{к}}=T_{\text{к.пир}}$ . При этом результаты измерений  $U_{\text{КРП}}$  являются полностью достоверными, то есть достоверность результатов равна 100%. На практике случай  $T_{\text{к}}>T_{\text{к.пир}}$  не наблюдался и теоретических предпосылок для реализации этого случая не имеется.

Для подбора режима насыщения в формирователе пучка электронов необходим

экстрактор с независимо изменяемым напряжением. Пирометр для настройки работы устройства с отбором тока с катода электронной пушки в режиме насыщения используется один раз при настройке режимов после монтажа устройства. Повторные измерения могут проводиться по установленным режимам устройства.

5 Для обеспечения режима насыщения важна плоскостность полеобразующей эмиттирующей поверхности катода. При соотношении диаметра диафрагмы модулятора к расстоянию между плоскостями диафрагмы и катода более 10 и при отрицательном потенциале диафрагмы поле экстрактора проникает на всю поверхность катода под  
10 отверстием модулятора и создает режим насыщения. Составляющая пространственного заряда в таком случае стремится к нулю. Катоды любой другой формы и другая потенциал-геометрическая оптика пушки приводят к режиму пространственного заряда либо полностью, либо частично. В режиме насыщения полуширина энергетического распределения Максвелла-Больцмана определяется формулой энергии в потоке  $E=2kT_k$ , и при  $T_k=2500\text{ К}=0.43\text{ эВ}$ . В режиме пространственного заряда разброс  
15 по энергиям может достигать более 10 эВ. Сравнимые ширины составляют спады наклонных участков кривой задержки. Если катод находится в режиме пространственного заряда, то уход точки пересечения экстраполируемых прямых от фактической координаты  $U_{\text{КРП}}$  может достигать тех же более 10 Вольт, обусловленных избыточным наклоном.

20 Погрешность измерений определяется среднеквадратичным отклонением величин логарифма тока относительно прямой экстраполяции, умноженной на отношение длины экстраполяции к длине участка, на которой определяется среднеквадратичное отклонение логарифма тока задержки.

25 Для уменьшения вторичной эмиссии с выходного электрода пушки необходимо независимое изменение напряжения на нем в диапазоне ниже 50 В. Для работы формирователя в таком случае нужны, по меньшей мере, две электростатические линзы, для формирования которых нужно не менее двух пар электродов.

При неизвестной работе выхода катода  $e\phi_k$  контактная разность потенциалов между  
30 двумя объектами из разных материалов определяется двумя измерениями. Сначала измеряют контактную разность  $U_{\text{КРП}1}$  объекта 1 с катодом пушки, равную  $U_{\text{КРП}1}=(e\phi_k-e\phi_{o1})/e$ , где  $e\phi_{o1}$  - работа выхода объекта 1. Затем измеряют контактную разность  $U_{\text{КРП}2}$  объекта 2 с катодом пушки, равную  $U_{\text{КРП}2}=(e\phi_k-e\phi_{o2})/e$ , где  $e\phi_{o2}$  - работа  
35 выхода объекта 2. Далее по разности контактных разностей потенциалов объектов 1 и 2 с катодом определяют контактную разность потенциалов между ними  
 $U_{\text{КРП}12}=U_{\text{КРП}1}-U_{\text{КРП}2}=(e\phi_k-e\phi_{o1})/e-(e\phi_k-e\phi_{o2})/e=(e\phi_{o2}-e\phi_{o1})/e$ .

Сопоставительный анализ предполагаемого изобретения с прототипом показал, что достоверность измерений повышается от неопределенной величины до 100%.  
40 Погрешность измерений при линейной экстраполяции участка спада кривой задержки, в пределах снижения на три порядка от максимума тока пучка, можно определить как среднеквадратичный разброс измерений, умноженный на коэффициент 1.5-2. В среднем разброс угла наклона составляет единицы градусов. Погрешность измерения  $U_{\text{КРП}}$  меньше 0.2 В. В сравнении с прототипом эта величина может быть меньше в 5 и более  
45 раз.

Технико-экономическое обоснование на предполагаемое изобретение «Устройство определения контактной разности потенциалов»

Определение работы выхода электрона с поверхности остается актуальной проблемой



и по сегодняшний день. Потенциальные возможности метода контактной разности позволяют улучшить, уменьшить погрешность определения работы выхода и вывести этот параметр поверхности на метрологический уровень. Предполагаемое изобретение относится к средствам, на основе которых могут быть введены контролируемые  
5 параметры поверхности и обеспечивать поверхности с заданными свойствами для технологии пленочных систем и для научных исследований.

Сопоставительный анализ предполагаемого изобретения с прототипом показал, что достоверность измерений повышается от неопределенной величины до 100%. Погрешность измерений при линейной экстраполяции участка спада кривой задержки,  
10 в пределах снижения на три порядка от максимума тока пучка, можно определить как среднеквадратичный разброс измерений, умноженный на коэффициент 1.5 2. Разброс угла наклона составляет в среднем единицы градусов. Погрешность измерения  $U_{\text{КРП}}$  меньше 0.2 В. В сравнении с прототипом эта величина может быть меньше в 5 и более раз.

15

#### (57) Формула изобретения

Устройство измерения контактной разности потенциалов, содержащее электронную пушку с формирователем электронного пучка и с катодным узлом, состоящим из катода и модулятора с диафрагмой, внутри которого расположен катод, а также держатель  
20 измеряемого объекта, источник питания пушки, источник напряжения с переключаемой полярностью выходного напряжения, измеритель напряжения, соединенный с держателем измеряемого объекта и с катодом электронной пушки, измеритель тока между держателем объекта и катодом электронной пушки, отличающееся тем, что катод электронной пушки выполнен из плоской ленты, шириной больше диаметра  
25 отверстия диафрагмы модулятора и расположенной параллельно плоскости диафрагмы модулятора на расстоянии меньше диаметра отверстия диафрагмы, а формирователь электронного пучка содержит не менее четырех электродов линзовых систем.

30

35

40

45

