

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **026858**

(13) **B1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента  
**2017.05.31**

(51) Int. Cl. **G01R 19/00** (2006.01)

(21) Номер заявки  
**201500105**

(22) Дата подачи заявки  
**2014.12.15**

---

(54) **СПОСОБ ИЗМЕРЕНИЯ КОНТАКТНОЙ РАЗНОСТИ ПОТЕНЦИАЛОВ**

---

(43) **2016.06.30**

(56) **RU-C1-2471198**

(96) **2014/EA/0108 (BY) 2014.12.15**

ZHARIN Anatoly L. Contact Potential Difference Techniques as Probing Tools in Tribology and Surface Mapping, Scanning Probe Microscopy in Nanoscience and Nanotechnology (2010), p. 687-688  
SU-A1-1765788  
US-A-3498288  
JPS-A-56118653

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:  
**БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
(BY)**

(72) Изобретатель:  
**Жарин Анатолий Лаврентьевич,  
Гусев Олег Константинович,  
Тявловский Андрей Константинович,  
Тявловский Константин  
Леонидович, Пантелеев Константин  
Владимирович, Воробей Роман  
Иванович, Свистун Александр  
Иванович, Дубаневич Анастасия  
Вячеславовна (BY)**

---

(57) Изобретение относится к области электроизмерительной техники, в частности к способам измерения контактной разности потенциалов, и может найти применение как при решении научно-исследовательских задач, так и в промышленности при оценке состояния поверхности различных материалов, качества очистки их поверхностей, защитных свойств тонких пленок и покрытий, в том числе для изделий микро- и нанотехнологии, при различных условиях окружающей среды и внешних воздействиях на поверхность исследуемого образца. Задача, решаемая изобретением, заключается в увеличении производительности измерений контактной разности потенциалов путем сокращения времени установления выходного сигнала. Указанный технический результат достигается тем, что способ измерения контактной разности потенциалов включает размещение измерительного электрода вблизи поверхности исследуемого образца, наложение на измерительный электрод механической вибрации в направлении, перпендикулярном к поверхности исследуемого образца, соединение измерительного электрода с исследуемым образцом внешней электрической цепью, содержащей последовательно включенный регулируемый источник напряжения компенсации, по значению которого судят о величине контактной разности потенциалов. Согласно изобретению плавную регулировку напряжения компенсации не осуществляют, вместо этого детектируют переменную составляющую сигнала в цепи, содержащей измерительный электрод, при поочередной подаче двух различных фиксированных значений напряжения компенсации. На основании двух пар полученных значений строят график линейной зависимости величины выходного переменного сигнала от напряжения компенсации. Значение контактной разности потенциалов определяют как точку пересечения полученного графика с осью напряжений компенсации.

---

**B1**

**026858**

**026858**

**B1**

Изобретение относится к области электроизмерительной техники, в частности к способам измерения контактной разности потенциалов, и может найти применение как при решении научно-исследовательских задач, так и в промышленности при оценке состояния поверхности различных материалов, качества очистки их поверхностей, защитных свойств тонких пленок и покрытий, в том числе для изделий микро- и нанотехнологии, при различных условиях окружающей среды и внешних воздействиях на поверхность исследуемого образца.

Известен способ определения контактной разности потенциалов, заключающийся в том, что измерительный электрод приводят в контакт с поверхностью исследуемого образца, размыкают электрический контакт, фиксируют напряжение на измерительном электроде, инвертируют и усиливают сигнал, подают усиленный сигнал на исследуемый образец и регистрируют изменение напряжения на исследуемом образце в зависимости от расстояния между противоположными поверхностями исследуемого образца и измерительного электрода. Измеренную зависимость используют в качестве электрической характеристики контактной разности потенциалов [1].

Недостатком данного способа является принципиальная необходимость осуществления электрического контакта измерительного электрода с поверхностью исследуемого образца. Полученные таким образом результаты измерений оказываются недостоверны для широкого круга технических поверхностей, например прецизионных, так как механическое воздействие на исследуемую поверхность может прямо или косвенно изменять поверхностное состояние через поверхностный потенциальный барьер, например, вследствие адсорбции. Необходимость осуществления электрического контакта измерительного электрода с поверхностью исследуемого образца также исключает возможность применения данного способа для измерения контактной разности потенциалов металлов и полупроводников с диэлектрическим покрытием, в частности, окисными пленками, препятствующими образованию электрического контакта.

Наиболее близким по технической сущности к изобретению является бесконтактный способ измерения контактной разности потенциалов между двумя материалами, исключающий недостатки известного способа, связанные с необходимостью осуществления непосредственного электрического контакта с поверхностью образца. В соответствии с данным способом измерительный электрод располагают вблизи поверхности исследуемого образца, на измерительный электрод накладывают механическую вибрацию в направлении, перпендикулярном поверхности исследуемого образца, что приводит к модуляции взаимной электрической емкости измерительного электрода и поверхности исследуемого образца, измерительный электрод соединяют с исследуемым образцом внешней электрической цепью, содержащей последовательно включенный регулируемый источник напряжения компенсации, напряжение источника регулируют таким образом, чтобы амплитуда переменного электрического сигнала в цепи приняла значение, равное нулю. В случае автоматической регулировки напряжения компенсации переменный электрический сигнал в цепи, содержащей измерительный электрод, детектируется с помощью синхронного детектора, интегрируется, инвертируется и подается на измерительный электрод либо на исследуемый образец, реализуя тем самым отрицательную обратную связь. Величина контактной разности потенциалов в этом случае определяется по величине напряжения компенсации [2].

Недостатком данного способа является низкая производительность измерений, поскольку время установления выходного сигнала ограничено инерционностью цепи отрицательной обратной связи, содержащей интегратор, при этом постоянная времени интегратора должна быть много больше периода переменного электрического сигнала в цепи, содержащей измерительный электрод.

Задачей предлагаемого изобретения является увеличение производительности способа измерения контактной разности потенциалов путем сокращения времени установления выходного сигнала.

Указанный технический результат достигается тем, что в способе измерения контактной разности потенциалов, включающем размещение измерительного электрода вблизи поверхности исследуемого образца, наложение на измерительный электрод механической вибрации в направлении, перпендикулярном к поверхности исследуемого образца, соединение измерительного электрода с исследуемым образцом внешней электрической цепью, содержащей последовательно включенный регулируемый источник напряжения компенсации, по значению которого судят о величине контактной разности потенциалов, согласно изобретению плавную регулировку напряжения компенсации не осуществляют, вместо этого детектируют переменную составляющую сигнала  $i_{out}$  в цепи, содержащей измерительный электрод, при поочередной подаче двух различных фиксированных значений напряжения компенсации  $U_{comp}$ , на основании двух пар полученных значений строят график линейной зависимости величины выходного переменного сигнала от напряжения компенсации  $i_{out}(U_{comp})$ , а значение контактной разности потенциалов определяют как точку пересечения полученного графика с осью напряжений компенсации  $U_{comp}$ .

Сущность предлагаемого изобретения поясняет обобщенный график зависимости величины выходного переменного сигнала от напряжения компенсации  $i_{out}(U_{comp})$ , приведенный на чертеже.

Измерительный электрод и поверхность исследуемого образца формируют две обкладки динамического конденсатора, электрическая емкость  $C$  которого периодически изменяется во времени за счет вибрации измерительного электрода. При наличии между обкладками контактной разности потенциалов  $U_{CPD}$  в цепи, содержащей такой конденсатор, будет возникать электрический ток  $i_{out}$  в соответствии с выражением

$$i_{out} = U_{CPD} \frac{dC}{dt}, \quad (1)$$

где  $\frac{dC}{dt}$  - производная функции изменения емкости во времени.

Если на измерительный электрод дополнительно подать напряжение компенсации  $U_{comp}$ , то за счет его сложения с контактной разностью потенциалов ток в цепи примет значение

$$i_{out} = (U_{CPD} + U_{comp}) \frac{dC}{dt}. \quad (2)$$

Критерием компенсации является равенство нулю тока  $i_{out}$  в цепи, содержащей измерительный электрод. Поскольку производная  $\frac{dC}{dt}$  при вибрации измерительного электрода не может равняться нулю, то компенсация может быть достигнута только при выполнении условия

$$U_{CPD} = -U_{comp}. \quad (3)$$

Из-за инерционности цепи обратной связи достижение полной компенсации  $i_{out}=0$  требует достаточно длительного времени, кроме того, измерение малых токов  $i_{out} \rightarrow 0$  сопряжено с погрешностями, определяемыми шумами электронной схемы, что накладывает ограничения на точность компенсации. В то же время, можно видеть, что зависимость тока  $i_{out}$  от напряжения компенсации  $U_{comp}$  в выражении (2) является линейной и описывается формулой вида

$$i_{out}(U_{comp}) = a + bU_{comp}, \quad (4)$$

где  $a = U_{CPD} \frac{dC}{dt}$ ,  $b = \frac{dC}{dt}$ .

Известно, что для построения линейной зависимости необходимо и достаточно знание координат двух точек, относящихся к искомой зависимости. Таким образом, поочередно подавая на измерительный электрод два различных фиксированных значения напряжения компенсации  $U_{comp1}$  и  $U_{comp2}$  и измеряя соответствующие этим напряжениям значения выходного сигнала  $i_{out1}$  и  $i_{out2}$ , можно получить две относящиеся к графику искомой зависимости точки  $i_{out1}(U_{comp1})$  и  $i_{out2}(U_{comp2})$ , через которую может быть проведена прямая линия (см. чертеж). Данная прямая пересекает ось абсцисс в точке  $U_{CPD} + U_{comp} = 0$ , т.е.  $U_{comp} = -U_{CPD}$ , что позволяет определить значение КРП без использования обратной связи и необходимости измерения малых (стремящихся к нулю) токов, сопряженной с большими относительными погрешностями измерений.

К преимуществам предлагаемого способа измерения контактной разности потенциалов относятся увеличение производительности измерений за счет отсутствия затрат времени на установление сигнала в цепи обратной связи и повышение точности измерений за счет отсутствия погрешностей, связанных с измерением околонулевых значений тока.

Источники информации, принятые во внимание.

1. Патент RU 2471198, G01R 29/12, опубл. 27.12.2012.
2. Zharin, A.L. Contact Potential Deference Techniques as Probing Tools in Tribology and Surface Mapping/ A.L. Zharin// Scanning Probe Microscopy in Nanoscience and Nanotechnology (ed. by B. Bhushan). - Springer Heidelberg Dordrecht London New York. - 2010. - p. 687-720.

## ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

Способ измерения контактной разности потенциалов, заключающийся в том, что измерительный электрод и исследуемый образец, между которыми необходимо измерить контактную разность потенциалов, образуют плоский конденсатор, отличающийся тем, что выходной сигнал измерительного электрода регистрируют при двух различных значениях напряжения компенсации, по результатам измерений строят линейный график зависимости выходного сигнала измерительного электрода от потенциала компенсации, а значения контактной разности потенциалов определяют по точке пересечения графика с осью компенсирующего напряжения.

