

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(21) **201892470** (13) **A1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ**

(43) Дата публикации заявки
2020.05.29

(51) Int. Cl. *G01R 27/02* (2006.01)
G01R 31/26 (2006.01)

(22) Дата подачи заявки
2018.11.28

(54) **СПОСОБ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ИЗМЕРЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ЧЕТЫРЁХКОНТАКТНЫХ УСТРОЙСТВ И УДЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЧЕТЫРЁХ ЗОНДОВ**

(31) 2018140517

(72) Изобретатель:

(32) 2018.11.16

Кожевников Андрей Юрьевич (RU)

(33) RU

(71) Заявитель:

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ
УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
"ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ АВТОМАТИКИ ИМ.
Н.Л. ДУХОВА" (RU)**

(57) Изобретение относится к измерительной технике и представляет собой способ автоматизированного измерения сопротивлений с помощью четырёхконтактного устройства и измерения удельного сопротивления полупроводника с помощью четырёх зондов. При реализации способа в схеме четырёхзондового метода измерений сопротивления и удельного сопротивления полупроводника при помощи ключей двухпроводного мультиплексора проводят восемь коммутаций между зондами или контактами 1 и 2, 3 и 4, 1 и 3, 2 и 4 при прямом и обратном токе и измеряют восемь промежуточных значений сопротивления. Путём решения системы уравнений определяют значение сопротивления. Из соотношения, связывающего найденное сопротивление, толщину контролируемого объекта между зондами 2 и 3 и расстояние между зондами 2 и 3, определяют значение удельного сопротивления полупроводника. Техническими результатами являются высокая точность и повышенная надежность определения значений сопротивления и удельного сопротивления полупроводников. Кроме того, данный способ позволяет контролировать целостность всех образуемых электрических цепей и исключать из результата измерений значения переходных и контактных сопротивлений, сопротивлений линий связи и ключей мультиплексора в образуемых электрических цепях.

A1

201892470

201892470

A1

Способ автоматизированного измерения сопротивления при применении четырёхконтактных устройств и удельного сопротивления полупроводников с применением четырёх зондов

МПК G01R 25/00

Изобретение относится к измерительной технике, в частности к способам контроля сопротивления при применении четырёхконтактных устройств, удельного сопротивления полупроводников модифицированным четырёхзондовым методом с линейным расположением зондов.

При измерении удельного сопротивления полупроводников в большинстве случаев используется четырёхзондовый метод определения проводимости полупроводников.

Четырёхзондовый метод обычно используется применительно к полубесконечному образцу полупроводника, ограниченного плоской поверхностью. На эту поверхность перпендикулярно к ней помещают 4 тонких остро заточенных металлических зонда. Все четыре зонда расположены на одной прямой (фиг. 1). Через внешние зонды 1 и 4 пропускают электрический ток от источника тока, а между зондами 2 и 3 вольтметром измеряют разность потенциалов. Зная J_{14} и U_{23} , нетрудно найти значение удельного сопротивления. Шалимова К. В. Физика полупроводников. – М., 1971. – Гл. 1, параграфы 1-1, 1-2, 1-3. Павлов Л. П. Методы определения основных параметров полупроводниковых материалов. – М., 1975. – Гл. 1, параграфы 1.1, 1.2.

Недостатком способа является то, что в месте контакта измерительного зонда с полупроводником возникает так называемая контактная разность потенциалов, которая оказывает влияние на результаты измерений. В связи с этим значение сопротивления полупроводника, как правило, не может быть измерено при простом включении его в цепь омметра. Поэтому способ

измерений сопротивления, удельного сопротивления должна обеспечивать либо учёт, либо компенсацию этой дополнительной разности потенциалов.

Известен способ автоматизированного измерения сопротивлений, в котором результат измерений достигается за счет определенной последовательности четырёх коммутаций и измерений промежуточных сопротивлений R_1, R_2, R_3, R_4 и расчета искомого значения сопротивления $R_x = (R_4 + R_3 - R_2 - R_1)/2$. Патент РФ № 2655470, МПК G01R 27/02, G01R 31/02, 28.05.2018. Данное техническое решение принято в качестве прототипа.

Недостатком способа является то, что он направлен на исключение значений сопротивлений ключей мультиплексора $KN1, KL1, KNm, KLm$ и не исключает контактную разность потенциалов, возникающую между объектом контроля и зондами (иными контактными устройствами) или контактное сопротивление между ними. Способ не предназначен для измерения удельного сопротивления полупроводников.

Задачей, на решение которой направлено изобретение, является разработка способа, позволяющего контролировать сопротивление с помощью четырехконтактного устройства, удельное сопротивление полупроводника с помощью четырёх зондов и позволяющего исключать из результата измерений переходные, контактные сопротивления, сопротивления линий связи и ключей мультиплексора образованных измерительных каналов.

Техническим результатом является повышение точности измерения сопротивления и удельного сопротивления.

Технический результат достигается тем, в схеме четырехзондового метода измерений сопротивления и удельного сопротивления полупроводника при помощи ключей двухпроводного мультиплексора проводят восемь коммутаций между зондами или контактами 1 и 2, 3 и 4, 1 и 3, 2 и 4 при прямом и обратном токе и измеряют восемь промежуточных значений сопротивления; путём решения системы уравнений определяют значение сопротивления; определяют значение удельного сопротивления

полупроводника из соотношения, связывающего найденное сопротивление, толщину контролируемого объекта между зондами 2 и 3 и расстояние между зондами 2 и 3.

На фиг. 1 представлена схема измерений удельного сопротивления полупроводника при линейном расположении зондов.

На фиг. 2 представлена эквивалентная электрическая схема расположения зондов и иных контактных устройств при измерениях сопротивлений и удельного сопротивления полупроводника.

Способ реализуется следующим образом.

Зонды или иные контакты 1, 2, 3 и 4 через мультиплексор подключаются к одному измерителю сопротивлений. При этом может быть использован как измеритель сопротивлений с фиксированным значением тестового тока, так и компенсационный метод.

Осуществляют 8 измерений значений промежуточных сопротивлений $R_1, R_{1обр}, R_2, R_{2обр}, R_3, R_{3обр}, R_4, R_{4обр}$ соответственно между контактами 1 и 2, 3 и 4, 1 и 3, 2 и 4:

- измеряется значение сопротивления $R_1 = (R_{1К} + R_{1к1} + R_{12} + R_{2К} + R_{2к2})$; при этом может дополнительно контролироваться целостность измерительной цепи между зондами 1 и 2 или контактами 1 и 2 четырёхконтактного устройства при прямом токе путем сравнения с критическим допуском

$$R_1 \leq R_{доп1}; \quad (1)$$

- измеряется значение сопротивления $R_{1обр} = (R_{1К} + R_{1к2} + R_{21} + R_{2К} + R_{2к1})$; при этом может дополнительно контролироваться целостность измерительной цепи между зондами 1 и 2 или контактами 1 и 2 четырёхконтактного устройства при обратном токе путем сравнения с критическим допуском

$$R_{1обр} \leq R_{доп1обр}; \quad (2)$$

- измеряется значение сопротивления $R_2 = (R_{3К} + R_{3к1} + R_{34} + R_{4К} + R_{4к2})$, при этом может дополнительно контролироваться

целостность измерительной цепи между зондами 3 и 4 или контактами 3 и 4 четырёхконтактного устройства при прямом токе путем сравнения с критическим допуском

$$R_2 \leq R_{\text{доп}2}; \quad (3)$$

- измеряется значение сопротивления $R_{2\text{обр}} = (R_{3К} + R_{3к2} + R_{43} + R_{4К} + R_{4к1})$, при этом может дополнительно контролироваться целостность измерительной цепи между зондами 3 и 4 или контактами 3 и 4 четырёхконтактного устройства при обратном токе путем сравнения с критическим допуском

$$R_{2\text{обр}} \leq R_{\text{доп}2\text{обр}}; \quad (4)$$

- измеряется значение сопротивления $R_3 = (R_{1К} + R_{1к1} + R_{13} + R_{3К} + R_{3к2})$, при этом может дополнительно контролироваться целостность измерительной цепи между зондами 1 и 3 или контактами 1 и 3 четырёхконтактного устройства при прямом токе путем сравнения с критическим допуском

$$R_3 \leq R_{\text{доп}3}; \quad (5)$$

- измеряется значение сопротивления $R_{3\text{обр}} = (R_{1К} + R_{1к2} + R_{31} + R_{3К} + R_{3к1})$, при этом может дополнительно контролироваться целостность измерительной цепи между зондами 1 и 3 или контактами 1 и 3 четырёхконтактного устройства при обратном токе путем сравнения с критическим допуском

$$R_{3\text{обр}} \leq R_{\text{доп}3\text{обр}}; \quad (6)$$

- измеряется значение сопротивления $R_4 = (R_{2К} + R_{2к1} + R_{24} + R_{4К} + R_{4к2})$, при этом может дополнительно контролироваться целостность измерительной цепи между зондами 2 и 4 или контактами 2 и 4 четырёхконтактного устройства при прямом токе путем сравнения с критическим допуском

$$R_4 \leq R_{\text{доп}4}; \quad (7)$$

- измеряется значение сопротивления $R_{4\text{обр}} = (R_{2К} + R_{2к2} + R_{42} + R_{4К} + R_{4к1})$, при этом может дополнительно контролироваться

целостность измерительной цепи между зондами 2 и 4 или контактами 2 и 4 четырёхконтактного устройства при обратном токе путем сравнения с критическим допуском

$$R_{4обр} \leq R_{доп4обр}, \quad (8)$$

где:

$R_{1к1}$; $R_{1к2}$; $R_{2к1}$; $R_{2к2}$; $R_{3к1}$; $R_{3к2}$; $R_{4к1}$; $R_{4к2}$ – неизвестные значения сопротивлений линий связи и сопротивлений ключей мультиплексора;

$R_{1К}$; $R_{2К}$; $R_{3К}$; $R_{4К}$ – неизвестные значения контактных сопротивлений на зондов 1, 2, 3 и 4 или контактах 1, 2, 3 и 4 четырёхконтактного устройства соответственно.

Невыполнение неравенств (1)–(8) свидетельствует о нецелостности образованных цепей.

Искомое сопротивление или удельное сопротивление рассчитываются по значениям промежуточных измерений.

Рассчитывается эквивалентное сопротивление R по формуле:

$$R = (R_4 + R_3 - R_2 - R_1) + (R_{4обр} + R_{3обр} - R_{2обр} - R_{1обр}). \quad (9)$$

При этом число уравнений для данной совокупности измерений промежуточных значений сопротивлений меньше числа неизвестных сопротивлений $R_{1К}$, $R_{2К}$, R_{12} , R_{13} , R_{24} , $R_{3К}$, $R_{4К}$, R_{34} , $R_{1к1}$, $R_{1к2}$, $R_{2к1}$, $R_{2к2}$, $R_{3к1}$, $R_{3к2}$, R_{21} , R_{31} , R_{42} , $R_{4к1}$, $R_{4к2}$, R_{43} .

Решение (9):

$$\begin{aligned} R &= (R_4 + R_3 - R_2 - R_1) + (R_{4обр} + R_{3обр} - R_{2обр} - R_{1обр}) = ([R_{2К} + R_{2к1} + R_{24} + \\ &R_{4К} + R_{4к2}] + [R_{2К} + R_{2к2} + R_{42} + R_{4К} + R_{4к1}] + [R_{1К} + R_{1к1} + R_{13} + R_{3К} + \\ &R_{3к2}] + [R_{1К} + R_{1к2} + R_{31} + R_{3К} + R_{3к1}] - [R_{3К} + R_{3к1} + R_{34} + R_{4К} + R_{4к2}] - \\ &[R_{3К} + R_{3к2} + R_{43} + R_{4К} + R_{4к1}] - [R_{1К} + R_{1к1} + R_{12} + R_{2К} + R_{2к2}] - [R_{1К} + \\ &R_{1к2} + R_{21} + R_{2К} + R_{2к1}]) = \\ &= (R_{2К} + R_{2к1} + R_{24} + R_{4К} + R_{4к2} + R_{2К} + R_{2к2} + R_{42} + R_{4К} + R_{4к1} + R_{1К} + \\ &R_{1к1} + R_{13} + R_{3К} + R_{3к2} + R_{1К} + R_{1к2} + R_{31} + R_{3К} + R_{3к1} - R_{3К} - R_{3к1} - R_{34} - \\ &R_{4К} - R_{4к2} - R_{3К} - R_{3к2} - R_{43} - R_{4К} - R_{4к1} - R_{1К} - R_{1к1} - R_{12} - R_{2К} - R_{2к2} - R_{1К} - \\ &R_{1к2} - R_{21} - R_{2К} - R_{2к1}). \end{aligned}$$

Таким образом,

$$R = R_{24} + R_{42} + R_{13} + R_{31} - R_{34} - R_{43} - R_{12} - R_{21}. \quad (10)$$

С учетом того, что при линейном расположении зондов, или последовательном расположении сопротивлений $R_{24} = R_{23} + R_{34}$, $R_{42} = R_{32} + R_{43}$, $R_{13} = R_{12} + R_{23}$, $R_{31} = R_{21} + R_{32}$

$$R = R_{23} + R_{34} + R_{32} + R_{43} + R_{12} + R_{23} + R_{21} + R_{32} - R_{34} - R_{43} - R_{12} - R_{21},$$

$$R = 2 * (R_{23} + R_{32}), \quad (11)$$

а также с учетом того, что R_{23} и R_{32} – это значения искомого сопротивления, полученные при измерении на прямом и обратном токе соответственно, искомое среднее арифметическое значение сопротивления между зондами 2 и 3 $R_{изм}$ вычисляется по формуле:

$$R_{изм} = R/4 = 2*(R_{23} + R_{32})/4 = [(R_{4+}+R_{3-}-R_{2-}-R_{1-})+(R_{4обр}+R_{3обр}-R_{2обр}-R_{1обр})]/4 \quad (12)$$

При измерении удельного сопротивления между зондами 2 и 3, сопротивление $R_{изм}$ можно представить в виде:

$$R_{изм} = \rho_{23} \times l_{23} / S_{23},$$

где l_{23} – расстояние между зондами 2 и 3, S_{23} – толщина контролируемого объекта между зондами 2 и 3, R_{23} – значение сопротивления между зондами 2 и 3 при прямом токе.

Исходя из того, что расстояние между зондами 2 и 3 при измерении значений сопротивления при прямом и обратном токе неизменно ($l_{23} = l_{32}$), при расчете учитывается только это расстояние, а значения расстояний между другими зондами не принципиальны (не участвуют в определении значения удельного сопротивления), толщина контролируемого объекта S между зондами 2 и 3 неизменна ($S_{23} = S_{32}$), при расчете учитывается только это значение толщины, а значение толщины объекта на других его участках (в т.ч. между другими зондами) не принципиальны (не участвуют в

определении значения удельного сопротивления), искомое среднее арифметическое значение удельного сопротивления полупроводника $\rho_{\text{ср}}$ между зондами 2 и 3, исключаящее направление заряда в полупроводнике, определяется по формуле:

$$\rho_{\text{ср}} = R_{\text{изм}} \times S_{23} / l_{23} \quad (13)$$

Таким образом, использование представленного способа позволяет с высокой точностью и повышенной надежностью контролировать значения сопротивления и удельного сопротивления полупроводников.

Кроме того, данный способ позволяет контролировать целостность всех образуемых электрических цепей и исключать из результата измерений значения переходных и контактных сопротивлений, сопротивлений линий связи и ключей мультиплексора в образуемых электрических цепях.

Формула изобретения

Способ автоматизированного измерения сопротивлений с помощью четырёхконтактного устройства и измерения удельного сопротивления полупроводника с помощью четырёх линейно расположенных зондов, отличающийся тем, что зонды располагают на произвольном расстоянии друг от друга, при помощи ключей двухпроводного мультиплексора проводят восемь коммутаций между зондами или контактами 1 и 2, 3 и 4, 1 и 3, 2 и 4 при прямом и обратном токе и измеряют восемь промежуточных значений сопротивления $R_1, R_{1обр}, R_2, R_{2обр}, R_3, R_{3обр}, R_4, R_{4обр}$ соответственно; вычисляют значение сопротивления

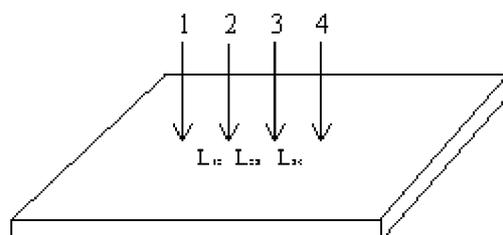
$$R_{изм} = [(R_4 + R_3 - R_2 - R_1) + (R_{4обр} + R_{3обр} - R_{2обр} - R_{1обр})]/4;$$

вычисляют значение удельного сопротивления полупроводника

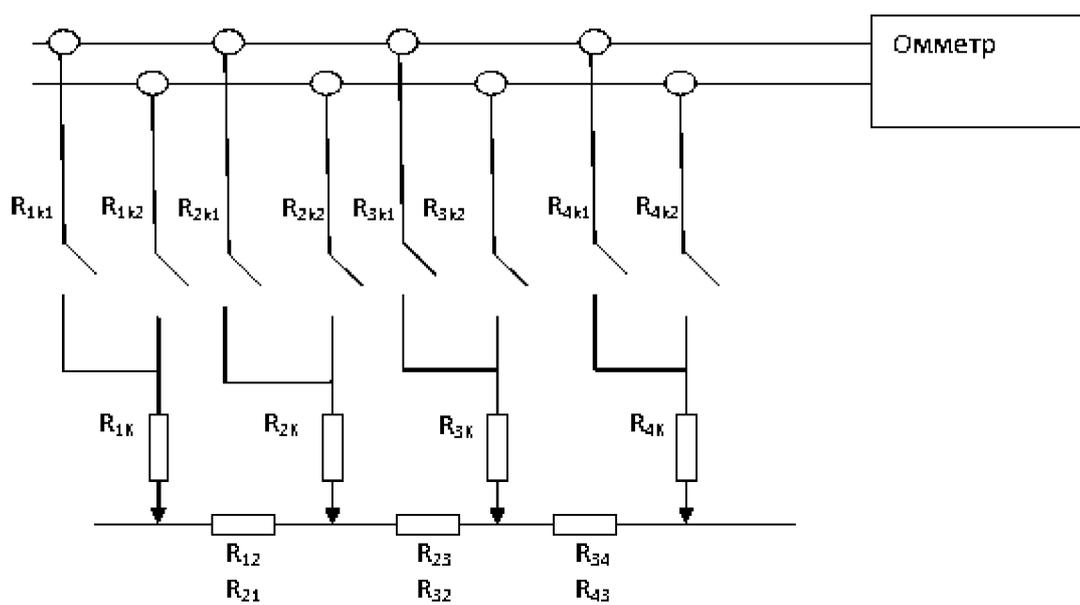
$$\rho_{ср} = R_{изм} \times S_{23} / l_{23},$$

где S_{23} – толщина контролируемого объекта между зондами 2 и 3, l_{23} – расстояние между зондами 2 и 3.

Способ автоматизированного измерения сопротивления при применении
четырёхконтактных устройств и удельного сопротивления полупроводников
с применением четырёх зондов



Фиг. 1.



Фиг. 2.

ЕВРАЗИЙСКОЕ ПАТЕНТНОЕ ВЕДОМСТВО

ОТЧЕТ О ПАТЕНТНОМ
ПОИСКЕ(статья 15(3) ЕАПК и правило 42
Патентной инструкции к ЕАПК)

Номер евразийской заявки:

201892470

Дата подачи: 28 ноября 2018 (28.11.2018)		Дата испрашиваемого приоритета: 16 ноября 2018 (16.11.2018)	
Название изобретения: Способ автоматизированного измерения сопротивления при применении четырёхконтактных устройств и удельного сопротивления полупроводников с применением четырёх зондов			
Заявитель: ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ "ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ АВТОМАТИКИ ИМ. Н.Л. ДУХОВА"			
<input type="checkbox"/> Некоторые пункты формулы не подлежат поиску (см. раздел I дополнительного листа)			
<input type="checkbox"/> Единство изобретения не соблюдено (см. раздел II дополнительного листа)			
А. КЛАССИФИКАЦИЯ ПРЕДМЕТА ИЗОБРЕТЕНИЯ:			
МПК: G01R 27/02 (2006.01)		СПК: G01R 27/02 (2016-05)	
G01R 31/26 (2014.01)		G01R 31/02 (2013-01)	
Согласно Международной патентной классификации (МПК) или национальной классификации и МПК			
Б. ОБЛАСТЬ ПОИСКА:			
Минимум просмотренной документации (система классификации и индексы МПК) G01R 27/00-27/14, 31/02			
Другая проверенная документация в той мере, в какой она включена в область поиска:			
В. ДОКУМЕНТЫ, СЧИТАЮЩИЕСЯ РЕЛЕВАНТНЫМИ			
Категория*	Ссылки на документы с указанием, где это возможно, релевантных частей		Относится к пункту №
A	RU 2655470 C1 (РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ, ОТ ИМЕНИ КОТОРОЙ ВЫСТУПАЕТ ГОСУДАРСТВЕННАЯ КОРПОРАЦИЯ ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ "РОСАТОМ" и др.) 28.05.2018		1
A	CN 101241153 A (UNIV HUAZHONG SCIENCE TECH) 13.08.2008		1
A	WO 2002/090928 A2 (G.T. EQUIPMENT TECHNOLOGIES, INC. et al.) 14.11.2002		1
A	US 5691648 A (CHENG, DAVID) 25.11.1997		1
A	SU 1758586 A1 (ТАМБОВСКИЙ ИНСТИТУТ ХИМИЧЕСКОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ) 30.08.1992		1
<input type="checkbox"/> последующие документы указаны в продолжении графы В		<input type="checkbox"/> данные о патентах-аналогах указаны в приложении	
* Особые категории ссылочных документов:			
"А" документ, определяющий общий уровень техники		"Г" более поздний документ, опубликованный после даты приоритета и приведенный для понимания изобретения	
"Е" более ранний документ, но опубликованный на дату подачи евразийской заявки или после нее		"Х" документ, имеющий наиболее близкое отношение к предмету поиска, порочащий новизну или изобретательский уровень, взятый в отдельности	
"О" документ, относящийся к устному раскрытию, экспонированию и т.д.		"У" документ, имеющий наиболее близкое отношение к предмету поиска, порочащий изобретательский уровень в сочетании с другими документами той же категории	
"Р" документ, опубликованный до даты подачи евразийской заявки, но после даты испрашиваемого приоритета		"&" документ, являющийся патентом-аналогом	
"D" документ, приведенный в евразийской заявке		"L" документ, приведенный в других целях	
Дата действительного завершения патентного поиска:		16 мая 2019 (16.05.2019)	
Наименование и адрес Международного поискового органа: Федеральный институт промышленной собственности РФ, 125993, Москва, Г-59, ГСП-3, Бережковская наб., д. 30-1. Факс: (499) 243-3337, телетайп: 114818 ПОДАЧА		Уполномоченное лицо :  О.С. Макарова Телефон № (499) 240-25-91	