

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **037462**

(13) **B1**

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

(45) Дата публикации и выдачи патента
2021.03.30

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

(21) Номер заявки
201892470

(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**

(56) RU-C1-2655470
CN-A-101241153
WO-A2-2002090928
US-A-5691648
SU-A1-1758586

(32) **2018.11.16**

(33) **RU**

(43) **2020.05.31**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
**ФЕДЕРАЛЬНОЕ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ
УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
"ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ АВТОМАТИКИ ИМ.
Н.Л. ДУХОВА" (RU)**

(72) Изобретатель:
Кожевников Андрей Юрьевич (RU)

(74) Представитель:
Ульянин О.В. (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. Техническим результатом является 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.

B1

037462

037462

B1

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 должен 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 четырёхконтактного 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, что 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; 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 $R_1 = (R_{1K} + R_{1k1} + R_{12} + R_{2K} + R_{2k2})$; 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

$$R_1 \leq R_{дон1}; \quad (1)$$

измеряется значение сопротивления $R_{1обр} = (R_{1K} + R_{1k2} + R_{21} + R_{2K} + R_{2k1})$; 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

$$R_{1обр} \leq R_{дон1обр}; \quad (2)$$

измеряется значение сопротивления $R_2 = (R_{3K} + R_{3k1} + R_{34} + R_{4K} + R_{4k2})$, 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 $R_{2\text{обр}} = (R_{3K} + R_{3k2} + R_{43} + R_{4K} + R_{4k1})$, 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 $R_3 = (R_{1K} + R_{1k1} + R_{13} + R_{3K} + R_{3k2})$, 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 $R_{3\text{обр}} = (R_{1K} + R_{1k2} + R_{31} + R_{3K} + R_{3k1})$, 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 $R_4 = (R_{2K} + R_{2k1} + R_{24} + R_{4K} + R_{4k2})$, 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 $R_{4\text{обр}} = (R_{2K} + R_{2k2} + R_{42} + R_{4K} + R_{4k1})$, 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

$$R_{4\text{обр}} \leq R_{\text{доп}4\text{обр}}; \quad (8)$$

где

R_{1k1} ; R_{1k2} ; R_{2k1} ; R_{2k2} ; R_{3k1} ; R_{3k2} ; R_{4k1} ; R_{4k2} - неизвестные значения сопротивлений линий связи и сопротивлений ключей мультиплексора;

R_{1K} ; R_{2K} ; R_{3K} ; R_{4K} - 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

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

При этом число уравнений для данной совокупности измерений промежуточных значений сопротивлений меньше числа неизвестных сопротивлений R_{1K} , R_{2K} , R_{12} , R_{13} , R_{24} , R_{3K} , R_{4K} , R_{34} , R_{1k1} , R_{1k2} , R_{2k1} , R_{2k2} , R_{3k1} , R_{3k2} , R_{21} , R_{31} , R_{42} , R_{4k1} , R_{4k2} , R_{43} .

Решение (9):

$$\begin{aligned} R &= (R_4 + R_3 - R_2 - R_1) + (R_{4\text{обр}} + R_{3\text{обр}} - R_{2\text{обр}} - R_{1\text{обр}}) = ([R_{2K} + R_{2k1} + R_{24} + \\ &R_{4K} + R_{4k2}] + [R_{2K} + R_{2k2} + R_{42} + R_{4K} + R_{4k1}] + [R_{1K} + R_{1k1} + R_{13} + R_{3K} + \\ &R_{3k2}] + [R_{1K} + R_{1k2} + R_{31} + R_{3K} + R_{3k1}] - [R_{3K} + R_{3k1} + R_{34} + R_{4K} + R_{4k2}] - \\ &[R_{3K} + R_{3k2} + R_{43} + R_{4K} + R_{4k1}] - [R_{1K} + R_{1k1} + R_{12} + R_{2K} + R_{2k2}] - [R_{1K} + \\ &R_{1k2} + R_{21} + R_{2K} + R_{2k1}]) = \\ &= (R_{2K} + R_{2k1} + R_{24} + R_{4K} + R_{4k2} + R_{2K} + R_{2k2} + R_{42} + R_{4K} + R_{4k1} + R_{1K} + \\ &R_{1k1} + R_{13} + R_{3K} + R_{3k2} + R_{1K} + R_{1k2} + R_{31} + R_{3K} + R_{3k1} - R_{3K} - R_{3k1} - R_{34} - \\ &R_{4K} - R_{4k2} - R_{3K} - R_{3k2} - R_{43} - R_{4K} - R_{4k1} - R_{1K} - R_{1k1} - R_{12} - R_{2K} - R_{2k2} - R_{1K} - \\ &R_{1k2} - R_{21} - R_{2K} - R_{2k1}). \end{aligned}$$

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 $R_{24} = R_{23} + R_{34}$, $R_{42} = R_{32} + R_{43}$, $R_{13} = R_{12} + R_{23}$, $R_{31} = R_{21} + R_{32}$

$$\begin{aligned} R &= R_{23} + R_{34} + R_{32} + R_{43} + R_{12} + R_{23} + R_{21} + R_{32} - R_{34} - R_{43} - R_{12} - R_{21}, \\ &R = 2 * (R_{23} + R_{32}), \end{aligned} \quad (11)$$

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 сопротив-

ления 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 ρ_{cp} между зондами 2 и 3, исключая направление заряда в полупроводнике, определяется по формуле

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

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 удельных 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

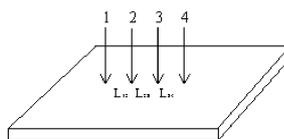
$$R_{изм} = [(R_4 + R_3 - R_2 - R_1) + (R_{4обр} + R_{3обр} - R_{2обр} - R_{1обр})]/4;$$

вычисляют значение удельного сопротивления полупроводника

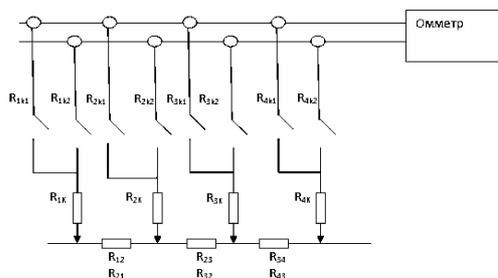
$$\rho_{cp} = R_{изм} \times S_{23} / l_{23},$$

где S_{23} - толщина контролируемого объекта между зондами 2 и 3,

l_{23} - расстояние между зондами 2 и 3.



Фиг. 1



Фиг. 2



Евразийская патентная организация, ЕАПВ

Россия, 109012, Москва, Малый Черкасский пер., 2