



**ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ
СОЮЗА ССР**

**КРЕМНИЙ И ГЕРМАНИЙ
МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ**

**ИЗМЕРЕНИЕ УДЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО
СОПРОТИВЛЕНИЯ ЧЕТЫРЕХЗОНДОВЫМ МЕТОДОМ**

**ГОСТ 24392—80
(СТ СЭВ 1250—78)**

Издание официальное

**ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО СТАНДАРТАМ
Москва**



РАЗРАБОТАН Министерством цветной металлургии СССР

ИСПОЛНИТЕЛИ

В. С. Матвеев, А. Ф. Орлов, А. Г. Галканов, Н. Н. Соловьев, В. М. Михайлов

ВНЕСЕН Министерством цветной металлургии СССР

Член Коллегии А. П. Снурников

УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 15 сентября 1980 г.
№ 4705

КРЕМНИЙ И ГЕРМАНИЙ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ

Измерение удельного электрического сопротивления
четырёхзондовым методомMonocrystal silicon and germanium. Measurement
of specific electrical resistance by a four probe methodГОСТ
24392—80
(СТ СЭВ
1250—78)

Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 15 сентября 1980 г. № 4705 срок действия установлен

с 01.01. 1981 г.
до 01.01. 1986 г.

Несоблюдение стандарта преследуется по закону

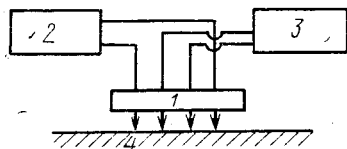
Настоящий стандарт устанавливает четырехзондовый метод измерения удельного электрического сопротивления на плоской поверхности монокристаллов электронной или дырочной проводимости в диапазоне удельных сопротивлений от $1 \cdot 10^{-4}$ до $2 \cdot 10^3$ Ом·см.

Метод основан на расчете величины удельного сопротивления по результатам измерения разности потенциалов в двух точках, расположенных на плоской поверхности монокристалла, при пропускании электрического тока определенной величины через два точечных контакта, расположенных на той же поверхности. Предельные значения погрешности измерений, регламентируемые настоящим стандартом, обеспечиваются стандартными образцами удельного электрического сопротивления.

1. АППАРАТУРА И МАТЕРИАЛЫ

1. Установка для измерения удельного электрического сопротивления (см. чертеж) состоит из измерительного четырехзондового преобразователя 1 типа С2080 с четырьмя линейно расположенными зондами из карбида вольфрама; расстояние между зондами — $l_0 = 1,3$ мм; линейный размер рабочей площадки зонда ≤ 60 мкм; сила прижима каждого зонда к поверхности монокристалла — от 0,55 до 2,0 Н; источника постоянного тока 2, обеспечивающего получение электрических токов изменяемой полярности

в диапазонах, соответствующих назначению установки; допустимые отклонения электрического тока за время измерения не должны превышать 0,5% от его величины;



прибора для измерения напряжения в диапазонах 3, приведенных в таблице. Погрешность измерения $\leq 1,0\%$; монокристалла 4.

Сопротивление изоляции монтажа должно быть не ниже требуемого входного сопротивления измерительного прибора.

Верхний предел измеряемого удельного электрического сопротивления ρ , Ом·см	Верхний предел тока I , А	Верхний предел измеряемого напряжения U , В	Входное сопротивление измерительного прибора, $R_{вх}$, Ом, не менее
10^{-3}	$1,0 \cdot 10^{-1}$	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^3$
10^{-2}	$1,0 \cdot 10^{-1}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^4$
10^{-1}	$1,0 \cdot 10^{-1}$	$1,2 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^5$
1,0	$8,2 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-1}$	$1 \cdot 10^6$
10^1	$8,2 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-1}$	$1 \cdot 10^7$
10^2	$8,2 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-1}$	$1 \cdot 10^8$
$2 \cdot 10^3$	$4,1 \cdot 10^{-5}$	$1,0 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^8$

Материалы абразивные по ГОСТ 3647—80.

Порошки алмазные по ГОСТ 9206—70.

Бязь отбеленная по ГОСТ 11680—76.

Марля медицинская по ГОСТ 9412—77.

Бумага промокательная по ГОСТ 6246—71.

Вода питьевая по ГОСТ 2874—73.

Инструменты алмазные.

Ткань упаковочная, суровая.

Фильтры обеззоленные.

2. ПРОВЕДЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ

2.1. Измерения проводят на плоских поверхностях, имеющих шероховатость Ra не более 2,5 мкм по ГОСТ 2789—73, соблюдая условия:

расстояние между краем (границей плоскости) и ближайшим к нему зондом должно быть не менее 5 мм;

освещенность монокристаллов германия с удельным электрическим сопротивлением, большим 45 Ом·см, и кремния, большим 200 Ом·см, не должна превышать 50 лк. Для остальных диапазонов удельного электрического сопротивления допускается освещенность монокристаллов рассеянным светом не более 500 лк.

2.2. На поверхность монокристалла, установленного в держателе, плавно опускают зонды измерительной головки перпендикулярно поверхности.

2.3. Устанавливают ток I через монокристалл в соответствии с таблицей и измеряют падение напряжения между внутренними зондами при двух полярностях тока.

Искомое значение сигнала U определяют как среднее арифметическое из измерений при двух полярностях тока.

3. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

3.1. Удельное сопротивление (ρ), Ом·см, вычисляют по формуле

$$\rho = \frac{U}{I} - 2\pi l_{\text{эфф}}, \quad (1)$$

где $l_{\text{эфф}}$ — эффективное расстояние между зондами измерительной головки, определяемое по формуле

$$l_{\text{эфф}} = \left(\frac{1}{l_1} - \frac{1}{l_1 + l_2} - \frac{1}{l_2 + l_3} + \frac{1}{l_3} \right)^{-1}, \quad (2)$$

где l_1, l_2, l_3 — расстояния между первым и вторым, вторым и третьим, третьим и четвертым зондами, соответственно.

При измерительной головке с $l_0 = 1,3 \text{ мм} \pm 0,013 \text{ мм}$ в формулу (1) подставляют значение l_0 ; при отклонении межзондового расстояния, превышающем 0,013 мм, в формулу (1) подставляют значение $l_{\text{эфф}}$.

3.2. Приведение результатов измерений к любой температуре от 18 до 28°C выполняют в соответствии с обязательным приложением.

3.3. Случайная составляющая погрешность измерения удельного электрического сопротивления не должна превышать $\pm 2\%$ при доверительной вероятности $P = 0,95$.

Суммарная погрешность измерения не должна превышать $\pm 5\%$ при доверительной вероятности $P = 0,95$.

3.4. Результат измерения характеризуется погрешностью $\pm 5\% \rho$, если измерения при двух полярностях тока или при многократных измерениях в пределах одной области не различаются более чем на величину установленной случайной погрешности измерения ($\pm 2\%$).

3.5. При различии в результатах измерений при двух полярностях тока (ρ_+ , ρ_-), превышающем $\pm 2\%$ от (ρ) (если эти различия не аппаратного происхождения), измерения характеризуют погрешностью

$$\frac{\Delta\rho}{\rho} = \Delta_c\% + \sqrt{\frac{(\rho_+ - \rho_-)^2}{3\rho^2} + \left(\frac{\Delta}{100}\right)^2} \cdot 100\%, \quad (3)$$

где $\rho = \frac{\rho_+ + \rho_-}{2}$;

Δ — случайная составляющая погрешности, равная 2%;

Δ_c — систематическая составляющая погрешности, равная 3%.

3.6. Результаты измерений выражают трехзначным числом, если первая цифра 1, 2 или 3 и двухзначным, если первая цифра больше трех.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Обязательное

Результат измерения удельного электрического сопротивления может быть приведен к любой температуре от 18 до 28°C. В этом случае рассчитанное по формуле (2) настоящего стандарта удельное сопротивление (ρ_{t_0}), измеренное при температуре (t_0), фиксированной с погрешностью $\pm 0,5^\circ\text{C}$ при температуре $23^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$, пересчитывают на требуемую температуру (t) по формуле

$$\rho_t = \frac{\rho_{t_0}}{1 - C(t - t_0)},$$

где C — температурный коэффициент, взятый из табл. 1 для кремния электронного (n -типа) и дырочного (p -типа) проводимости и из табл. 2 для германия электронного (n -типа) и дырочного (p -типа) типа проводимости;

t — номинальная температура от 18 до 28°C;

ρ_{t_0} — удельное сопротивление, измеренное при температуре t_0 ;

ρ_t — удельное сопротивление, пересчитанное на температуру t .

Таблица 1

Температурный коэффициент для кремния	Интервал удельного электрического сопротивления, Ом·см					
	0,0001—0,004	0,004—0,04	0,04—0,1	0,1—1,0	1,0—10,0	10,0—1000
n -типа, 1/град	0,002	0,001	0,004	0,006	0,008	0,008
p -типа, 1/град	0,001	0,001	0,003	0,006	0,008	0,009

Таблица 2

Температурный коэффициент для германия	Интервал удельного электрического сопротивления, Ом·см					
	0,0001—0,001	0,001—0,01	0,01—0,1	0,1—1,0	1,0—10	10—100
<i>n</i> -типа, 1/град	0,002	0,001	0,004	0,006	0,006	0,006
<i>p</i> -типа, 1/град	0,002	0,002	0,004	0,007	0,008	0,008

Контр. ЭК7

Изменение № 1 ГОСТ 24392—80 Кремний и германий монокристаллические.
Измерение удельного электрического сопротивления четырехзондовым методом
Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 17.05.85
№ 1393 срок введения установлен

с 01.01.86

Под обозначением стандарта проставить код: ОКСТУ 1770.

Вводная часть. Заменить значение: $2 \cdot 10^3$ Ом·см на $1 \cdot 10^4$ Ом·см.

Пункт 1. Первый абзац после слов «монокристалла — от 0,55 до 2,0 Н» дополнить словами: «(допускается использовать измерительный четырехзондовый преобразователь с номинальным межзондовым расстоянием 1,59 и 0,75 мм)»; таблицу дополнить значением:

Верхний предел измеряемого удельного электрического сопротивления ρ , Ом·см	Верхний предел тока I , А	Верхний предел измеряемого напряжения U , В	Входное сопротивление измерительного прибора $R_{вх}$, Ом, не менее
10^4	$8 \cdot 10^{-6}$	$1,0 \cdot 10^{-1}$	$1 \cdot 10^9$

Пункт 2.1. Первый абзац. Исключить слова: «соблюдая условия»; второй абзац изложить в новой редакции: «Измерение образцов кремния Р-типа электропроводности с удельным электрическим сопротивлением более 10^3 Ом·см проводят на плоских поверхностях с параметром шероховатости $20 \text{ мкм} \leq R_z \leq 40 \text{ мкм}$ по ГОСТ 2789—73.

При проведении измерений расстояние между краем (границей плоскости) и ближайшим к нему зондом должно быть не менее $4l_0$.

При измерении удельного электрического сопротивления по образующей монокристалла ширина измерительной дорожки должна быть не менее $6l_0$, где l_0 — номинальное межзондовое расстояние».

(Продолжение см. с. 56)

(Продолжение изменения к ГОСТ 24392—80)

Пункт 3.3 изложить в новой редакции: «3.3. Случайная составляющая погрешности измерения удельного электрического сопротивления, характеризующая сходимость результатов измерений, не должна превышать $\pm 2\%$ при доверительной вероятности $P=0,95$.

Суммарная погрешность измерения не должна превышать $\pm 5\%$ при доверительной вероятности $P=0,95$ для образцов с удельным электрическим сопротивлением не более 10^3 Ом·см; не должна превышать $\pm 8\%$ при доверительной вероятности $P=0,95$ для образцов с удельным электрическим сопротивлением более 10^3 Ом·см».

Пункт 3.4 после слов «Результат измерения» дополнить словами: «для образцов с удельным электрическим сопротивлением не более 10^3 Ом·см».

Пункт 3.5 перед словами «При различии в результатах измерений» дополнить словами: «Для образцов с удельным электрическим сопротивлением не более 10^3 Ом·см»; формулу (3) изложить в новой редакции:

$$\frac{\Delta\rho}{\rho} = \Delta_c \% + \sqrt{\frac{(\rho_+ - \rho_-)^2}{4\rho^2} + \left(\frac{\Delta}{100}\right)^2} \cdot 100\% . \quad (3)$$

Приложение. Таблица 1. Графа «Интервал удельного электрического сопротивления, Ом·см». Заменить значение: 10,0—1000 на 10,0—10000.

(ИУС № 8 1985 г.)

Изменение № 2 ГОСТ 24392—80 Кремний и германий монокристаллические. Измерение удельного электрического сопротивления четырехзондовым методом

Утверждено и введено в действие Постановлением Государственного комитета СССР по управлению качеством продукции и стандартам от 26.06.90 № 1849

Дата введения 01.01.91

Наименование стандарта на английском языке изложить в новой редакции: «Monocrystalline silicon and germanium. Measurement of the electrical resistivity by the four-probe method».

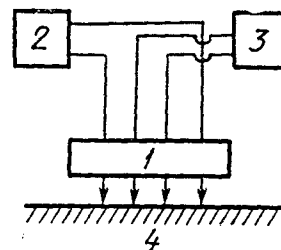
Вводную часть изложить в новой редакции: «Настоящий стандарт устанавливает четырехзондовый метод измерения удельного электрического сопротивления на плоской поверхности слитков монокристаллических кремния и германия электронного или дырочного типа электропроводности в диапазоне значений удельного электрического сопротивления от $1 \cdot 10^{-4}$ Ом·см до $1 \cdot 10^4$ Ом·см.

Метод основан на измерении разности потенциалов между двумя зондами четырехзондовой измерительной головки, установленной на поверхности контролируемого образца, при пропускании электрического тока определенной величины через два других точечных зонда, расположенных на той же поверхности, и вычислении удельного электрического сопротивления».

Разделы 1—3 изложить в новой редакции:

«1. Аппаратура и материалы

Структурная схема измерительной установки приведена на чертеже.



1 — четырехзондовая измерительная головка; 2 — источник постоянного тока; 3 — прибор для измерения электрического напряжения; 4 — образец

(Продолжение см. с. 98)

Измерительная установка должна быть аттестована на погрешность измерения удельного электрического сопротивления, не превышающую 5%.

1.1. Измерительная четырехзондовая головка с четырьмя линейно расположенными зондами из карбида вольфрама должна соответствовать требованиям, приведенным в табл. 1.

Таблица 1

Номинальное значение межзондового расстояния l_0 , см	Допустимое отклонение межзондового расстояния, %	Сила прижима зонда F , Н	Линейный размер рабочей площадки зонда, мкм, не более
0,159 0,130 0,075	± 1	0,50—2,00	60

1.2. Источник постоянного тока, обеспечивающий создание в измерительной цепи электрического тока изменяемой полярности, должен соответствовать требованиям, приведенным в табл. 2.

Таблица 2

Верхний предел измеряемого удельного электрического сопротивления ρ , Ом·см	Верхний предел электрического тока I , А	Верхний предел измеряемого электрического напряжения V , В	Входное электрическое сопротивление измерительного прибора $R_{вх}$, Ом, не менее
$1 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-1}$	$2,1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^3$
$1 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-1}$	$2,1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^4$
$1 \cdot 10^{-1}$	$1,0 \cdot 10^{-1}$	$2,1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^4$
$1 \cdot 10^0$	$8,2 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-1}$	$1 \cdot 10^6$
$1 \cdot 10^1$	$8,2 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-1}$	$1 \cdot 10^7$
$1 \cdot 10^2$	$8,2 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-1}$	$1 \cdot 10^8$
$1 \cdot 10^3$	$8,2 \cdot 10^{-5}$	$1,0 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^8$
$1 \cdot 10^4$	$8,2 \cdot 10^{-6}$	$1,0 \cdot 10^{-1}$	$1 \cdot 10^9$

(Продолжение см. с. 99)

1.2.1. Допустимая нестабильность электрического тока за время измерений должна быть не более 0,5%.

1.2.2. Погрешность измерения силы электрического тока — не более 0,5%.

1.3. Прибор для измерения электрического напряжения с погрешностью не более 1% должен соответствовать требованиям, приведенным в табл. 2.

1.4. Сопротивление изоляции измерительной схемы должно быть не менее входного сопротивления измерительного прибора.

1.5. Вспомогательные устройства и материалы
Термометр с погрешностью измерения не более 0,5°C.

Материалы абразивные по ГОСТ 3647—80.

Инструменты алмазные с применением алмазных порошков по ГОСТ 9206—80.

Порошки алмазные.

Бумага фильтровальная по ГОСТ 12026—76.

Бумага промокательная.

Бязь отбеленная по ГОСТ 11680—76.

Материал обтирочный — упаковочный, ткань арт. 6313 или 6304.

Вода питьевая по ГОСТ 2874—82.

Спирт этиловый по ГОСТ 18300—87.

Допускается использование инструментов и материалов, не уступающих вышеуказанным по своим характеристикам и качеству.

2. Подготовка образцов и условия проведения измерений

2.1. Измерения проводят на плоских поверхностях, имеющих параметр шероховатости R_a по ГОСТ 2789—73 не более 2,5 мкм. Измерение удельного электрического сопротивления кремния р-типа электропроводности с ρ более 10^3 Ом·см проводят на плоских поверхностях с параметром шероховатости R_z в диапазоне ($20 \leq R_z \leq 40$) мкм.

2.1.1. Для обеспечения требуемой шероховатости поверхности образцы шлифуют абразивными материалами либо инструментами алмазными с применением алмазных порошков.

2.1.2. После шлифовки образцы промывают проточной питьевой или очищенной технической водой, сушат фильтровальной (промокательной) бумагой или другими материалами и обезжиривают спиртом.

2.2. При проведении измерений расстояние между краем (границей плоскости) и ближайшим к нему зондом должно быть не менее $4 \cdot l_0$, где l_0 — номинальное значение межзондового расстояния.

2.3. При измерении удельного электрического сопротивления по образующей слитка ширина измерительной дорожки должна быть не менее $6 \cdot l_0$.

2.4. Измерения выполняют при фиксированной температуре (23 ± 2) °С. Контролируемые образцы доводят до температуры, при которой проводят измерения. Допускается проведение измерений при фиксированной с погрешностью $\pm 0,5$ °С температуре в диапазоне (23 ± 5) °С, выполняя температурную коррекцию результатов измерений в соответствии с приложением.

2.5. Измерение удельного электрического сопротивления германия с ρ более 45 Ом·см и кремния с ρ более 200 Ом·см выполняют при затемнении образца. Для остальных диапазонов удельного электрического сопротивления допускается освещенность образцов рассеянным светом не более 500 лк.

3. Проведение измерений и обработка результатов

3.1. На поверхность образца, установленного в держатель, плавно опускают зонды измерительной головки перпендикулярно поверхности.

3.2. Через образец пропускают электрический ток I и измеряют значение разности потенциалов между внутренними потенциальными зондами при двух полярностях электрического тока. За результат измерения разности потенциалов U принимают среднее арифметическое полученных значений. Значение электрического тока устанавливают в соответствии с требованиями табл. 2.

(Продолжение см. с. 100)

3.3. Вычисляют значение удельного электрического сопротивления ρ , Ом·см, по формуле (1)

$$\rho = \frac{U}{I} \cdot 2l_{\text{эфф}}, \quad (1)$$

где U — значение разности потенциалов, В;

I — значение электрического тока, при котором проводили измерения, А;

$l_{\text{эфф}}$ — эффективное значение межзондового расстояния, вычисляемое по формуле (2)

$$l_{\text{эфф}} = \left(\frac{1}{l_1} - \frac{1}{l_1+l_2} - \frac{1}{l_2+l_3} + \frac{1}{l_3} \right)^{-1}, \quad (2)$$

где l_1, l_2, l_3 — расстояния между первым и вторым, вторым и третьим, третьим и четвертым зондами соответственно.

При использовании четырехзондовой головки, у которой отклонение межзондового расстояния от номинального значения l_0 не превышает $\pm 1\%$, в формулу (2) подставляют значение $l = l_0$.

3.4. Допускается проведение измерений и обработка результатов с использованием средств автоматизации по алгоритму, изложенному в настоящем стандарте.

Стандарт дополнить разделом — 4:

«4. Представление результатов измерений и нормы на показатели точности

4.1. Результатом измерения удельного электрического сопротивления является величина, вычисленная по формуле (1).

4.2. Случайная составляющая погрешности измерения удельного электрического сопротивления, характеризующая сходимость результатов измерений, не превышает $\pm 2\%$ при доверительной вероятности $P=0,95$.

4.3. Суммарная погрешность измерения не превышает $\pm 5\%$ при контроле образцов с $\rho \leq 10^3$ Ом·см и не превышает $\pm 8\%$ при контроле образцов с удельным электрическим сопротивлением более 10^3 Ом·см при доверительной вероятности $P=0,95$.

4.4. Результат измерения удельного электрического сопротивления представляют трехзначным числом, если первой цифрой являются 1, 2, 3, и двузначным, если первая цифра более 3».

Приложение. Первый абзац изложить в новой редакции: «Результат измерения удельного электрического сопротивления приводят к температуре $t_0 = 23^\circ\text{C}$ по формуле

$$\rho_{t_0} = \frac{\rho_t}{1 - C \cdot (t - t_0)}, \quad (3)$$

где ρ_t — удельное электрическое сопротивление, Ом·см;

C — температурный коэффициент (табл. 1, 2);

t — номинальная температура в диапазоне $(23 \pm 5)^\circ\text{C}$;

ρ_{t_0} — удельное электрическое сопротивление при 23°C .

Результат измерения удельного электрического сопротивления может быть приведен к любой номинальной температуре в пределах диапазона $(23 \pm 5)^\circ\text{C}$ ».

Таблица 1. Головка. Заменить значение: 10,0—1000 на 10,0—10000.

Y

Редактор *И. В. Виноградская*
Технический редактор *В. Н. Прусакова*
Корректор *А. Г. Старостин*

Сдано в наб. 08.10.80 Подп. к печ. 28.11.80 0,5 п. л. 0,31 уч.-изд. л. Тир. 12000 Цена 3 коп.

Ордена «Знак Почета» Издательство стандартов, 123557, Москва, Новопресненский пер., 3.
Калужская типография стандартов, ул. Московская, 256. Зак. 2956