ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 71645— 2024

КРЕМНИЙ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ

Метод измерения концентрации примесей

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2024

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Акционерным обществом «Российский научно-исследовательский институт «Электронстандарт» (АО «РНИИ «Электронстандарт»)

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 303 «Электронная компонентная база, материалы и оборудование»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 1 октября 2024 г. № 1339-ст

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

*Правила применения настоящего стандарта установлены в статье 26 Федерального закона от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации». Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (*gost.e-ecolog.ru

© Оформление. ФГБУ «Институт стандартизации», 2024

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

КРЕМНИЙ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ

Метод измерения концентрации примесей

Silicon is a semiconductor.
Method of measuring the concentration of impurities

Дата введения — 2025—03—01

1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на вновь разрабатываемый и модернизируемый полупроводниковый кремний и устанавливает химико-атомно-эмиссионный метод измерения концентрации примесей с возбуждением спектров разрядов с горячим полым катодом. Интервалы определяемых значений концентрации примесей приведены в приложении А.

Стандарт следует применять для выбора параметров при разработке технических заданий (ТЗ) на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, программ испытаний (ПИ), опытных образцов, стандартов на методы измерений, номенклатуру показателей системы показателей качества и технического уровня полупроводникового кремния.

Настоящий стандарт предназначен для применения предприятиями, организациями и другими субъектами научной и хозяйственной деятельности независимо от форм собственности и подчинения, а также федеральными органами исполнительной власти Российской Федерации, участвующими в разработке, производстве, эксплуатации полупроводникового кремния в соответствии с действующим законодательством.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 123 Кобальт. Технические условия

ГОСТ 804 Магний первичный в чушках. Технические условия

ГОСТ 849 Никель первичный. Технические условия

ГОСТ 859 Медь. Марки

ГОСТ 860 Олово. Технические условия

ГОСТ 1089 Сурьма. Технические условия

ГОСТ 1277 Реактивы. Серебро азотнокислое. Технические условия

ГОСТ 1467 Кадмий. Технические условия

ГОСТ 1770 (ИСО 1042—83, ИСО 4788—80) Посуда мерная лабораторная стеклянная. Цилиндры, мензурки, колбы, пробирки. Общие технические условия

ГОСТ 3640 Цинк. Технические условия

ГОСТ 3778 Свинец. Технические условия

ГОСТ 3885 Реактивы и особо чистые вещества. Правила приемки, отбор проб, фасовка, упаковка, маркировка, транспортирование и хранение

ГОСТ 4530 Реактивы. Кальций углекислый. Технические условия

ГОСТ 4568 Калий хлористый. Технические условия

ГОСТ 5905 (ИСО 10387:1994) Хром металлический. Технические требования и условия поставки

Издание официальное

ГОСТ 6008 Марганец металлический и марганец азотированный. Технические условия

ГОСТ 6217 Уголь активный древесный дробленый. Технические условия

ГОСТ 6835 Золото и сплавы на его основе. Марки

ГОСТ 9293 (ИСО 2435—73) Азот газообразный и жидкий. Технические условия

ГОСТ 10297 Индий. Технические условия

ГОСТ 10691.1 Пластинки фотографические черно-белые. Метод определения чисел светочувствительности

ГОСТ 10928 Висмут. Технические условия

ГОСТ 11069 Алюминий первичный. Марки

ГОСТ 11125 Кислота азотная особой чистоты. Технические условия

ГОСТ 12797 Галлий технический. Технические условия

ГОСТ 13510 (ИСО 3875—90) Станки круглошлифовальные бесцентровые. Основные параметры и размеры. Нормы точности и жесткости

ГОСТ 13637.1 Галлий. Атомно-эмиссионный метод определения алюминия, висмута, железа, кремния, магния, марганца, меди, никеля, олова, свинца, хрома и цинка

ГОСТ 14261 Кислота соляная особой чистоты. Технические условия

ГОСТ 22622 Материалы полупроводниковые. Термины и определения основных электрофизических параметров

ГОСТ 24222 Пленка и лента из фторопласта-4. Технические условия.

ГОСТ 29227 (ИСО 835-1—81) Посуда лабораторная стеклянная. Пипетки градуированные. Часть 1. Общие требования

ГОСТ Р 53228 Весы неавтоматического действия. Часть 1. Метрологические и технические требования. Испытания

ГОСТ Р 55878 Спирт этиловый технический гидролизный ректификованный. Технические условия

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого стандарта с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого стандарта с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по ГОСТ 22622.

4 Метод отбора проб

4.1 Отбор проб — по ГОСТ 3885.

4.2 Пробу заворачивают в чистую фторопластовую пленку и разбивают молотком, завернутым во фторопластовую пленку, на куски весом 200 — 500 мг. Навеску кремния, примерно 1 г (два — пять кусочков) отбирают во взвешенную фторопластовую чашку. Поверхность кремния очищают от возможных загрязнений, промывая в концентрированной соляной кислоте при нагревании и протравливая в смеси фтористоводородной и азотной кислот, взятых в соотношении один к сорока, в течение 10 мин с последующим промыванием в деионизованной воде. Точную навеску кремния получают после взвешивания высушенной пробы во фторопластовой чашке и вычитания из полученного значения веса пустой фторопластовой чашки.

5 Требования к реактивам, стандартным растворам, аппаратуре и средствам измерения

5.1 Реактивы, используемые для приготовления стандартных растворов сравнения, взвешивают с погрешностью до 0,0002 г.

5.2 Для приготовления стандартных растворов сравнения применяют реактивы квалификации не ниже ч. д. а, если не указана другая.

5.3 Срок хранения головных растворов сравнения — до одного года. Срок хранения основного раствора сравнения — до одного месяца.

5.4 Азотную кислоту, используемую для растворения проб кремния, дважды перегоняют в аппарате для перегонки жидкостей.

5.5 Измерение содержания примесей проводят в трех параллельных навесках.

5.6 Используют катоды для анализа, очищенные в разряде и проверенные на чистоту в соответствии с 6.6.

5.7 Измерение концентрации примесей в кремнии проводят в пылезащитной камере при содержании в 1 $дм^3$ воздуха пылинок диаметром не менее 0,5 мкм не более 10 шт.

5.8 Бокс перед выпариванием растворов и разрядную трубку после извлечения каждого образца протирают спиртом.

5.9 Для измерения концентрации примесей в полупроводниковом кремнии используют следующую аппаратуру, материалы и реактивы:

- спектрограф дифракционный с решеткой 1200 штр/мм с двухлинзовой системой освещения (линзу F-75 диаметром 25 мм устанавливают на расстоянии 165 мм от щели спектрографа и 125 мм от переднего торца катода) или спектрограф кварцевый, соответствующие требуемым метрологическим характеристикам;
- установка «полый катод», ЕТМ 3.426.000;
- микрофотометр нерегистрирующий типа МФ-2 или аналогичный;
- спектропроектор СПП-2;
- станок токарный для заточки графитовых электродов;
- камера пылезащитная типа М 825.000.000;
- бокс настольный типа 9БП 1-ОС, с очищенным через ткань Петрянова воздухом;
- шкаф вытяжной типа ШВ 1-ОС;
- счетчик фотоэлектрический аэрозольных частиц типа А3- 5;
- весы лабораторные 200 г по ГОСТ Р 53228;
- аппарат для перегонки жидкостей, ЕТМ 3.709.026;
- аппарат для изотермической перегонки кислот, ЕТМ 3.920.098;
- лампа инфракрасного излучения типа ИКЗ 220 — 500;
- колба мерная 2 — 100 по ГОСТ 1770;
- пипетки 6 — 2 — 10; 4 — 2 — 2; 4 — 2 — 1 по ГОСТ 29227;
- микропипетка на 0,005 мл;
- чашка, ЕТМ 7.422.203;
- катод, выточенный из углей спектральных ос. ч. 7—3, диаметром 6 мм, ЕТМ 7.080.005;
- пленка Ф-4 ЭО сорт 1 (0,02 × 120) по ГОСТ 24222;
- пластинки фотографические типа СП2;
- сосуд Дьюара типа СК-16;
- перчатки хирургические резиновые;
- очки защитные типа Г;
- гелий газообразный, очищенный, марки А. Перед поступлением в металлическую разрядную трубку дополнительно очищают от примесей молекулярных газов в ловушке с активированным углем, охлаждаемой жидким азотом;
- азот жидкий, 1-й сорт по ГОСТ 9293;
- уголь активированный марки БАУ- А по ГОСТ 6217;
- вода деионизированная марки Е;
- кислота азотная, ос. ч. 21-5 по ГОСТ 11125;
- кислота фтористоводородная, ос. ч. 27-5;
- кислота хлористоводородная, ос. ч. 20-4 по ГОСТ 14261;
- спирт этиловый ректификованный технический, высший сорт по ГОСТ Р 55878;

- алюминий первичный, марки А99 по ГОСТ 11069;
- висмут марок Ви0, Ви00 по ГОСТ 10928;
- галлий, 99,999;
- железо карбонильное радиотехническое марки Пе по ГОСТ 13510;
- золото марки Зл 999 по ГОСТ 6835;
- кадмий марки КД-2 по ГОСТ 1467;
- калий хлористый по ГОСТ 4568;
- кобальт марки К1 по ГОСТ 123;
- кальций углекислый, хч по ГОСТ 4530;
- магний первичный марки Мг-90 по ГОСТ 804;
- марганец металлический марки Мр0 или Мр00 по ГОСТ 6008;
- медь марки М3 по ГОСТ 859;
- мышьяк металлический;
- никель марки Н-2 по ГОСТ 849;
- натрий хлористый ос. ч. 6 — 4;
- олово марки О1 по ГОСТ 860;
- свинец марки С3 по ГОСТ 3778;
- серебро азотнокислое, хч, по ГОСТ 1277;
- сурьма по ГОСТ 1089;
- фосфор красный особый;
- хром марки Х00 по ГОСТ 5905;
- цинк марки Ц1 по ГОСТ 3640;
- индий марки I_n 2 по ГОСТ 10297.

Примечание — Интервалы определяемых значений концентрации примесей указаны в таблице А.1 приложения А.

5.10 При использовании кварцевого спектрографа все примеси (за исключением натрия и калия, которые измеряют дифракционным спектрографом) измеряют из одной навески пробы, при использовании дифракционного спектрографа — из трех навесок пробы.

6 Требования к подготовке измерений

6.1 Приготовление головных растворов сравнения

6.1.1 Для получения головных растворов сравнения (ГРС), содержащих по 10 мг/см^3 меди, висмута, фосфора, берут по 1 г указанных веществ, растворяют в минимальном (20—50 см^3) количестве азотной кислоты, затем растворы переводят в мерные колбы, доводят до метки водой и перемешивают.

6.1.2 Для получения ГРС, содержащих по 10 мг/см^3 алюминия, галлия, железа, индия, кобальта, кадмия, марганца, никеля, олова, сурьмы, хрома, цинка, берут по 1 г указанных веществ, растворяют в минимальном (20 см^3) количестве соляной кислоты, затем растворы переводят в мерные колбы, доводят до метки соляной кислотой, разбавленной водой в соотношении один к одному (по объему), и перемешивают.

6.1.3 ГРС, содержащий 1 мг/см^3 золота, готовят растворением 0,1 г металла в 10 см^3 смеси соляной и азотной кислот, взятых в соотношении три к одному (по объему), раствор переводят в мерную колбу, доводят до отметки водой и перемешивают.

6.1.4 ГРС, содержащий 1 мг/см^3 серебра, готовят растворением 0,1575 г азотнокислого серебра в воде. Раствор переводят в мерную колбу, доводят до метки водой и перемешивают.

6.1.5 ГРС, содержащий 10 мг/см^3 кальция, готовят растворением 2,5 г предварительно высушенного при 100 °С — 110 °С до постоянной массы углекислого кальция в минимальном (20—30 см^3) количестве соляной кислоты, разбавленной водой в соотношении один к одному (по объему), раствор переводят в мерную колбу, доводят до метки и перемешивают.

6.1.6 ГРС, содержащий 10 мг/см^3 натрия, готовят растворением 2,5435 г хлористого натрия в воде. Раствор переводят в мерную колбу, доводят до отметки водой и перемешивают.

6.1.7 ГРС, содержащий 10 мг/см^3 калия, готовят растворением 1,9103 г хлористого калия в воде. Раствор переводят в мерную колбу, доводят до отметки водой и перемешивают.

6.2 Приготовление основного раствора сравнения

Основной раствор сравнения (ОРС), содержащий по 1 мг/см^3 калия, кальция, мышьяка, натрия, сурьмы, фосфора; по 0,2 мг/см^3 алюминия, железа, магния; по 0,1 мг/см^3 висмута, галлия, кадмия, кобальта, марганца, меди, никеля, олова, свинца, хрома, цинка, готовят следующим образом: в мерную колбу помещают по 10 см^3 головных растворов калия, кальция, мышьяка, натрия, сурьмы, фосфора; по 2 см^3 головных растворов алюминия, железа, магния; по 1 см^3 головных растворов висмута, галлия, кадмия, кобальта, марганца, меди, никеля, олова, свинца, хрома, цинка, доводят до метки концентрированной соляной кислотой и перемешивают.

6.3 Приготовление серии рабочих растворов сравнения

В день проведения анализа из ОРС и ГРС золота и серебра готовят серию рабочих растворов давления (РРС) методом последовательного разбавления в соответствии с таблицей 1.

6.4 Приготовление образцов сравнения

Для приготовления образца сравнения ОС 1 берут три катода, предварительно очищенных в разряде. На дно каждого из них помещают с помощью микропипетки по 0,005 см^3 РРС 1 и высушивают в течение 5 мин под инфракрасной лампой. Аналогичным образом готовят образцы сравнения ОС 2 — ОС 6 из рабочих растворов РРС 2 — РРС 6.

Таблица 1 — Интервалы определяемых значений концентрации примесей

Обозначение раствора сравнения	Массовая доля примесей, мг/см^3			Объем разбавляемого раствора, помещаемого в мерную колбу и доводимого до метки соляной кислотой (один к одному)
	калия, кальция, мышьяка, натрия, сурьмы, фосфора	алюминия, железа, магния	висмута, галлия, золота, кадмия, кобальта, марганца, меди, никеля, олова, свинца, хрома, цинка	
РРС 1	0,1	0,02	0,01	10 см^3 ОР и по 1 см^3 ГРС золота и серебра
РРС 2	0,03	0,006	0,003	30 см^3 РРС 1
РРС 3	0,01	0,002	0,001	10 см^3 РРС 1
РРС 4	0,003	0,0006	0,0003	10 см^3 РРС 2
РРС 5	0,001	0,0002	0,0001	10 см^3 РРС 3
РРС 6	0,0003	0,00006	0,00003	10 см^3 РРС 4

6.5 Подготовка посуды

Фторопластовые чашки, очищенные кипячением в смеси азотной и соляной кислот, взятых в соотношении один к трем (по объему), перед анализом обрабатывают в парах азотной кислоты в течение 1 ч.

6.6 Подготовка катодов

В катоды накапывают по 0,1 см^3 соляной кислоты и высушивают досуха под инфракрасной лампой. Помещают катоды в установку полого катода (по 4 шт. на одно заполнение) и тренируют в атмосфере кислорода при давлении 133 Па (1 мм рт. ст.) и токе 0,15 А с в течение 30 с. Оттренированные катоды очищают от примесей, создавая в установке разряд в потоке гелия при давлении 2660 Па (20 мм рт. ст.) и токе 1,2 А в течение 5 мин с экспонированием спектра в течение последней минуты на фотопластинку. Для проведения анализа отбирают катоды, в спектрах которых отсутствуют аналитические линии всех элементов, за исключением железа, магния, алюминия, натрия, а плотности почернения последних не превышают 0,20 ед. логарифмической шкалы микрофотометра.

7 Требование к проведению измерений

7.1 Концентрирование примесей

Три фторопластовых чашки с навесками кремния в 1 г, очищенными от поверхностных загрязнений, помещают во внутренний отсек аппарата для изотермической перегонки кислот, приливают в каждую из них по 3,5 $см^3$ дважды перегнанной азотной кислоты, а во внешний отсек аппарата приливают 200 $см^3$ фтористоводородной кислоты. Закрывают плотно камеру с завинчивающейся крышкой и помещают на водную баню. Растворение проб происходит в течение не более 14 ч при температуре 70 °С — 80 °С. Полученные в чашках растворы упаривают до капли под инфракрасной лампой, с помощью микропипетки переносят в полость, подготовленную к анализу катодов, и выпаривают досуха. Полученные сухие остатки представляют собой концентраты примесей, подвергаемые спектральному анализу.

Приведенным выше методом одновременно во втором таком же аппарате проводят три контрольных опыта для определения загрязнений в реактивах.

7.2 Спектральный анализ концентрата примесей

Кассету заряжают фотопластинкой, вставляют ее в рамку спектрографа и открывают заслонку. Фотографирование спектров осуществляют через трехступенчатый ослабитель при ширине щели спектрографа 25 мкм для ИСП-30 и 40 мкм для ДФС-8.

Катод с пробой помещают в разрядную трубку установки «полого катода» на держатель, откачивают воздух из установки до вакуума 26,6 Па ($2 \cdot 10^{-1}$ мм рт. ст.), открывают кран подачи гелия при работающем форвакуумном насосе, устанавливают давление 2660 Па (20 мм рт. ст.) потока гелия. Катод с пробой подключают к источнику питания и при силе тока 0,05 А выводят изображение центра полости катода на центр крышки, надетой на щель спектрографа. Силу тока поднимают до 0,2 А и тренируют катод в течение 20 с. Затем снимают крышку со щели спектрографа, за 20—30 с поднимают силу тока до 1,0 А и экспонируют спектр так, чтобы общая экспозиция вместе с подъемом силы тока от 0,2 до 1,0 А составляла 1,5 мин.

Отключают электропитание, перекрывают гелий, наполняют установку воздухом до атмосферного давления и проводят перезарядку разрядной трубки. После этого повторяют операции по съемке спектров всех анализируемых проб, контрольных проб и образцов сравнения в трех параллельных измерениях для каждой из проб.

Требования к химико-фотографической обработке фотопластины должны соответствовать ГОСТ 10691.1.

8 Обработка результатов

8.1 В спектрограммах, полученных для образцов сравнения (ОС), контрольных проб (КП) и анализируемых проб (АП), измеряют плотность почернения аналитической линии определяемого элемента $S_{л+ф}$ и минимальную плотность близлежащего фона $S_ф$. Расчитывают разность почернения ΔS по формуле

$$\Delta S = S_{л+ф} - S_ф \quad (1)$$

и вычисляют среднее арифметическое значение из трех параллельных измерений.

Длины волн аналитических элементов указаны в таблице 2.

Таблица 2

Измеряемый элемент	Длины волн аналитических измерений, нм			
	дифракционный спектрограф		спектрограф средней дисперсии, кварцевый	
Алюминий	308,22	398,15	308,22	2816,18
Висмут	306,77		306,77	
Галлий	4032,98		2943,64	
Железо	302,06	396,93	259,94	281,33

Окончание таблицы 2

Измеряемый элемент	Длины волн аналитических измерений, нм				
	дифракционный спектрограф			спектрограф средней дисперсии, кварцевый	
Золото	242,8	267,59		242,80	267,59
Индий	325,6			325,6	
Кадмий	228,80	361,05		228,80	
Калий	404,41			—	
Кальций	396,85	317,93		317,93	
Кобальт	345,35			345,35	
Магний	278,30	280,27		278,30	280,27
Марганец	403,09	279,48		279,83	279,48
Медь	327,40	324,75		327,40	324,75
Мышьяк	234,98	278,02		234,98	
Натрий	330,23			—	
Никель	305,08	361,93		305,06	
Олово	284,00	317,50		284,00	
Свинец	405,78	263,30		283,30	
Серебро	328,06			328,06	
Сурьма	259,80			259,80	
Фосфор	255,38	253,56		255,33	
Хром	283,56	425,44	357,87	283,56	
Цинк	334,50			334,50	

От полученных средних значений по ГОСТ 13637.1 переходят к соответствующим значениям логарифмов относительной интенсивности:

$$\lg \frac{У_л}{У_ф}, \quad (2)$$

где $У_л$ — интенсивность линии измеряемого элемента;

$У_ф$ — интенсивность фона.

По значениям $\lg C_i$ для образцов сравнения (где C_i — содержание примесей в граммах в *i*-образце сравнения) и $\lg \frac{У_л}{У_ф}$ строят градуированный график в координатах $(\lg C_i - \lg \frac{У_л}{У_ф})$. Для контрольных и анализируемых проб после проверки на сходимость результатов по 8.3 по градуированному графику находят содержание примесей для контрольных $C_{к.п}$, анализируемых $C_{а.п}$ в граммах по соответствующим значениям $\lg \frac{У_л}{У_ф}$.

8.2 Массовую долю примеси *X*, %, вычисляют по формуле

$$X = \frac{(C_{а.п} - C_{к.п}) \cdot 100}{m}, \quad (3)$$

где *m* — масса навески кремния, г.

Объемную плотность примеси *N*, атом/см^3, вычисляют по формуле

$$N = \frac{X \cdot N_A \cdot \alpha}{A \cdot 100}, \quad (4)$$

где N_A — число Авогадро ($0{,}023 \cdot 10^{23}$);

α — плотность кремния, г/см^3 (2,32);

X — массовая доля, %;

A — атомная масса примеси.

8.3 При контроле сходимости результатов параллельных измерений из трех значений ΔS_1; ΔS_2; ΔS_3, полученных по трем спектрограммам, снятым для трех концентратов анализируемой пробы, выбирают наибольшее значение $(\Delta S)_{max}$ и наименьшее $(\Delta S)_{min}$, переходят от них к значениям $(\lg \frac{У_д}{У_ф})_{max}$ и $(\lg \frac{У_д}{У_ф})_{min}$, в соответствии с ГОСТ 13637.1 находят соответствующие значения массовой доли примеси в процентах в пробе X_{max} и X_{min} и сравнивают их отношение со значениями, приведенными в таблице 3.

Таблица 3

Измеряемая примесь	Массовая доля примеси, %	Предельно допустимые отношения между параллельными определениями	Предельно допустимые отношения величин введенной и измеряемой добавок
Алюминий, железо	$3 \cdot 10^{-7}$ $1 \cdot 10^{-6}$ $1 \cdot 10^{-5}$	4,1 3,9 3,5	2,0 1,9 1,8
Висмут, галлий, золото, кадмий, марганец	$1 \cdot 10^{-7}$ $1 \cdot 10^{-6}$ $5 \cdot 10^{-6}$	3,2 3,0 2,8	1,8 1,7 1,6
Кальций, калий, мышьяк, натрий, сурьма, фосфор	$1 \cdot 10^{-6}$ $5 \cdot 10^{-6}$ $5 \cdot 10^{-5}$	4,1 3,9 3,5	2,0 1,9 1,8
Кобальт, никель, хром, цинк	$3 \cdot 10^{-7}$ $1 \cdot 10^{-6}$ $5 \cdot 10^{-6}$	3,0 2,8 2,4	1,7 1,6 1,5
Медь	$3 \cdot 10^{-8}$ $3 \cdot 10^{-7}$ $3 \cdot 10^{-6}$	4,1 3,9 3,5	2,0 1,9 1,8
Серебро	$1 \cdot 10^{-8}$ $1 \cdot 10^{-7}$ $1 \cdot 10^{-8}$	3,0 2,8 2,4	1,7 1,6 1,5

8.4 Если рассчитанное отношение менее или равно приведенному в таблице 3, то за окончательный результат принимают среднее геометрическое результатов трех параллельных определений содержания примесей.

Если отношение больше приведенного в таблице 3, то анализ повторяют.

8.5 Правильность результатов анализа периодически контролируют методом добавок, которые вводят в одну из анализируемых проб на стадии растворения.

Результат анализа считают правильным с доверительной вероятностью $P = 0{,}95$, если расхождения между величинами введенной и найденной добавок не превосходят значений, указанных в таблице 3.

Приложение А
(обязательное)

Интервалы определяемых значений концентрации примесей

Таблица А.1

Измеряемые примеси	Интервалы значений примесей																					
	спектрометр дифракционный												спектрометр кварцевый									
	массовая доля примеси, %						объемная плотность примеси, атом/см^3						массовая доля примеси, %						объемная плотность примеси, атом/см^3					
Алюминий	От	$5 \cdot 10^{-7}$	до	$6 \cdot 10^{-5}$	включ.		От	$2 \cdot 10^{14}$	до	$3 \cdot 10^{16}$	включ.		От	$5 \cdot 10^{-7}$	до	$2 \cdot 10^{-4}$	включ.		От	$2 \cdot 10^{14}$	до	$1 \cdot 10^{15}$	включ.	
Висмут	>>	$1 \cdot 10^{-8}$	>>	$6 \cdot 10^{-6}$	>>		>>	$6 \cdot 10^{11}$	>>	$4 \cdot 10^{14}$	>>		>>	$5 \cdot 10^{-8}$	>>	$6 \cdot 10^{-5}$	>>		>>	$3 \cdot 10^{12}$	>>	$4 \cdot 10^{15}$	>>	
Галлий	>>	$3 \cdot 10^{-9}$	>>	$5 \cdot 10^{-7}$	>>		>>	$6 \cdot 10^{11}$	>>	$1 \cdot 10^{14}$	>>		>>	$3 \cdot 10^{-8}$	>>	$5 \cdot 10^{-6}$	>>		>>	$6 \cdot 10^{12}$	>>	$1 \cdot 10^{15}$	>>	
Железо	>>	$1 \cdot 10^{-7}$	>>	$2 \cdot 10^{-5}$	>>		>>	$3 \cdot 10^{13}$	>>	$5 \cdot 10^{15}$	>>		>>	$1 \cdot 10^{-7}$	>>	$2 \cdot 10^{-4}$	>>		>>	$3 \cdot 10^{13}$	>>	$5 \cdot 10^{16}$	>>	
Золото	>>	$1 \cdot 10^{-8}$	>>	$2 \cdot 10^{-5}$	>>		>>	$7 \cdot 10^{11}$	>>	$1 \cdot 10^{15}$	>>		>>	$3 \cdot 10^{-8}$	>>	$2 \cdot 10^{-4}$	>>		>>	$2 \cdot 10^{12}$	>>	$1 \cdot 10^{16}$	>>	
Индий	>>	$2 \cdot 10^{-8}$	>>	$5 \cdot 10^{-6}$	>>		>>	$2 \cdot 10^{12}$	>>	$6 \cdot 10^{14}$	>>		>>	$5 \cdot 10^{-8}$	>>	$2 \cdot 10^{-5}$	>>		>>	$6 \cdot 10^{12}$	>>	$2 \cdot 10^{15}$	>>	
Кадмий	>>	$1 \cdot 10^{-8}$	>>	$6 \cdot 10^{-6}$	>>		>>	$1 \cdot 10^{12}$	>>	$8 \cdot 10^{14}$	>>		>>	$3 \cdot 10^{-8}$	>>	$2 \cdot 10^{-5}$	>>		>>	$4 \cdot 10^{12}$	>>	$3 \cdot 10^{15}$	>>	
Калий	>>	$6 \cdot 10^{-7}$	>>	$6 \cdot 10^{-4}$	>>		>>	$2 \cdot 10^{14}$	>>	$2 \cdot 10^{17}$	>>		—						—					
Кальций	>>	$1 \cdot 10^{-7}$	>>	$6 \cdot 10^{-5}$	>>		>>	$4 \cdot 10^{13}$	>>	$2 \cdot 10^{16}$	>>		>>	$1 \cdot 10^{-6}$	>>	$2 \cdot 10^{-4}$	>>		>>	$4 \cdot 10^{14}$	>>	$7 \cdot 10^{16}$	>>	
Кобальт	>>	$3 \cdot 10^{-8}$	>>	$2 \cdot 10^{-5}$	>>		>>	$7 \cdot 10^{12}$	>>	$5 \cdot 10^{15}$	>>		>>	$7 \cdot 10^{-8}$	>>	$2 \cdot 10^{-4}$	>>		>>	$2 \cdot 10^{13}$	>>	$5 \cdot 10^{16}$	>>	
Магний	>>	$5 \cdot 10^{-7}$	>>	$2 \cdot 10^{-5}$	>>		>>	$3 \cdot 10^{14}$	>>	$1 \cdot 10^{16}$	>>		>>	$5 \cdot 10^{-7}$	>>	$2 \cdot 10^{-4}$	>>		>>	$3 \cdot 10^{14}$	>>	$1 \cdot 10^{17}$	>>	
Марганец	>>	$1 \cdot 10^{-8}$	>>	$2 \cdot 10^{-6}$	>>		>>	$3 \cdot 10^{12}$	>>	$5 \cdot 10^{14}$	>>		>>	$3 \cdot 10^{-8}$	>>	$2 \cdot 10^{-5}$	>>		>>	$8 \cdot 10^{12}$	>>	$5 \cdot 10^{15}$	>>	
Медь	>>	$7 \cdot 10^{-9}$	>>	$5 \cdot 10^{-6}$	>>		>>	$2 \cdot 10^{12}$	>>	$1 \cdot 10^{15}$	>>		>>	$7 \cdot 10^{-9}$	>>	$1 \cdot 10^{-5}$	>>		>>	$2 \cdot 10^{12}$	>>	$2 \cdot 10^{15}$	>>	
Мышьяк	>>	$5 \cdot 10^{-7}$	>>	$5 \cdot 10^{-4}$	>>		>>	$9 \cdot 10^{13}$	>>	$9 \cdot 10^{16}$	>>		>>	$3 \cdot 10^{-6}$	>>	$3 \cdot 10^{-3}$	>>		>>	$6 \cdot 10^{14}$	>>	$6 \cdot 10^{17}$	>>	
Натрий	>>	$1 \cdot 10^{-6}$	>>	$5 \cdot 10^{-4}$	>>		>>	$6 \cdot 10^{14}$	>>	$3 \cdot 10^{17}$	>>		—						—					
Никель	>>	$3 \cdot 10^{-8}$	>>	$6 \cdot 10^{-6}$	>>		>>	$7 \cdot 10^{12}$	>>	$1 \cdot 10^{15}$	>>		>>	$7 \cdot 10^{-8}$	>>	$2 \cdot 10^{-4}$	>>		>>	$2 \cdot 10^{13}$	>>	$5 \cdot 10^{16}$	>>	
Олово	>>	$1 \cdot 10^{-8}$	>>	$6 \cdot 10^{-6}$	>>		>>	$1 \cdot 10^{12}$	>>	$7 \cdot 10^{14}$	>>		>>	$5 \cdot 10^{-8}$	>>	$2 \cdot 10^{-4}$	>>		>>	$6 \cdot 10^{12}$	>>	$2 \cdot 10^{16}$	>>	
Свинец	>>	$1 \cdot 10^{-8}$	>>	$6 \cdot 10^{-6}$	>>		>>	$7 \cdot 10^{11}$	>>	$4 \cdot 10^{14}$	>>		>>	$1 \cdot 10^{-7}$	>>	$2 \cdot 10^{-4}$	>>		>>	$7 \cdot 10^{12}$	>>	$1 \cdot 10^{16}$	>>	
Серебро	>>	$1 \cdot 10^{-9}$	>>	$6 \cdot 10^{-7}$	>>		>>	$1 \cdot 10^{11}$	>>	$8 \cdot 10^{13}$	>>		>>	$3 \cdot 10^{-9}$	>>	$3 \cdot 10^{-6}$	>>		>>	$4 \cdot 10^{11}$	>>	$4 \cdot 10^{14}$	>>	
Сурьма	>>	$2 \cdot 10^{-7}$	>>	$6 \cdot 10^{-5}$	>>		>>	$2 \cdot 10^{13}$	>>	$7 \cdot 10^{15}$	>>		>>	$6 \cdot 10^{-7}$	>>	$2 \cdot 10^{-4}$	>>		>>	$7 \cdot 10^{13}$	>>	$2 \cdot 10^{16}$	>>	
Фосфор	>>	$3 \cdot 10^{-7}$	>>	$5 \cdot 10^{-5}$	>>		>>	$1 \cdot 10^{14}$	>>	$2 \cdot 10^{16}$	>>		>>	$7 \cdot 10^{-7}$	>>	$2 \cdot 10^{-4}$	>>		>>	$3 \cdot 10^{14}$	>>	$9 \cdot 10^{16}$	>>	
Хром	>>	$3 \cdot 10^{-8}$	>>	$6 \cdot 10^{-6}$	>>		>>	$8 \cdot 10^{12}$	>>	$2 \cdot 10^{15}$	>>		>>	$8 \cdot 10^{-8}$	>>	$2 \cdot 10^{-4}$	>>		>>	$2 \cdot 10^{13}$	>>	$5 \cdot 10^{16}$	>>	
Цинк	>>	$5 \cdot 10^{-8}$	>>	$2 \cdot 10^{-5}$	>>		>>	$1 \cdot 10^{13}$	>>	$4 \cdot 10^{15}$	>>		>>	$1 \cdot 10^{-7}$	>>	$2 \cdot 10^{-4}$	>>		>>	$2 \cdot 10^{13}$	>>	$4 \cdot 10^{16}$	>>	

УДК 621.316.592:546.28:543.06:006.354 ОКС 29.045

Ключевые слова: кремний полупроводниковый, метод, концентрация примесей

Редактор *Н.В. Таланова*
Технический редактор *И.Е. Черепкова*
Корректор *Р.А. Ментова*
Компьютерная верстка *М.В. Малеевой*

Сдано в набор 03.10.2024. Подписано в печать 09.10.2024. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 1,40. Уч.-изд. л. 1,18.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении в ФГБУ «Институт стандартизации»
для комплектования Федерального информационного фонда стандартов,
117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.

gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru