

## ВВЕДЕНИЕ

Параметры большинства устройств в обычных температурах приблизились к своему техническому пределу. Это означает, что возможности, определяемые свойствами материалов, во многом исчерпаны. Охлаждение — один из очевидных способов значительного изменения свойств некоторых материалов. Применение сверхпроводящих материалов эффективно, при минимальном риске отказа системы, только в узком диапазоне криогенных температур, что влечет за собой значительные затраты, а иногда и крайне затруднено. Использование сверхпроводящих материалов имеет и другие огромные трудности и ограничения, в том числе ограничения в некоторых задачах и условиях по другим физическим характеристикам и свойствам.

Материалы часто представляют интерес по сочетанию нескольких физических характеристик и свойств. Электропроводность, теплопроводность, температуропроводность, коэффициент отражения, предел текучести и т.д. - не единственное что может представлять интерес. Серьезное влияние на использование некоторых материалов влияют и такие параметры как токсичность, сложность в обработке, хрупкость при внешнем воздействии и т. п. Поэтому и рассматриваются возможности изготовления систем, элементов устройств из не сверхпроводящих металлов, в том числе работающих необязательно при гелиевых температурах.

Определенный интерес по многим параметрам представляет медь. Медь имеет высокие характеристики электрической проводимости и теплопроводности и применяется в различных областях и устройствах. Известно, что электропроводность (и не только) существенно зависит от наличия и распределения примесей в меди. Влияние примесей наиболее заметно в криогенике. Сотые и тысячные (и менее) доли процента примеси могут резко снижать ее тепло- и электропроводность. Электрическая проводимость не единственный параметр, который может представлять интерес. Различия в характеристиках, определенные чистотой меди, могут представлять интерес и не только в криогенных температурах.

## О ХИМИЧЕСКОЙ ЧИСТОТЕ МЕДИ

Есть определенное непонимание, что такое химическая чистота меди, как она определяется и для чего она нужна...

По этому вопросу более полная информация на нашем сайте, но кратко :

- Химическая чистота образца - некое назначаемое образцу Число, связанное с конкретным списком примесей. Выбирая различные списки примесей, можно получить сильно отличающиеся такие Числа.
- Особенности и характеристики меди определяются не столько суммой примесей, а сколько содержанием конкретных примесей и их конкретного количества.
- Стандарты и ТУ определяют некоторые эталонные параметры химического состава и химической чистоты.
- Методы анализа также влияют на назначаемое Число, но если они приемлемо измеряют все из выбранного списка, то имеют уточняющее значение, базовое значение - список примесей.

Вполне очевидная цель - по "Числу химической чистоты" и соответствию некоторому Стандарту или ТУ получить предсказуемые характеристики меди. Колебания значений характеристик могут быть, но вполне естественно ожидать определенные значения, в частности не хуже чего могут быть. Требуемые характеристики меди определяются областью применения и задачей.

## О КЛАССИЧЕСКОЙ МЕДИ 99.0% - 99.99%

Классическая медь имеет чистоту в диапазоне 99,0% - 99,99% и описывается общепринятыми стандартами ГОСТ 859-2001 (Россия), ASTM B170 (USA) или их близкими аналогами в других странах. Общепринятые стандарты описывают определенный список химических элементов (контролируемые примеси) по которым для каждой марки меди определяются химическая чистота и конкретные ограничения по содержанию некоторых примесей, определенных групп или каждой из примесей. Контролируемые примеси из этих стандартов являются наиболее трудно удаляемыми и влияющими на характеристики изделий из меди, используемых в различных областях и условиях.

При классическом производстве отдельные результаты чистоты марок меди могут быть и выше заявленных в стандартах, но гарантируется лишь то, что там указано, и для лучших марок меди это только "не менее 99,99%". Обеспечить гарантировано соответствие чистоте 99,99% по этим стандартам тоже не так просто: кроме общей чистоты по заявленным примесям необходимо соблюдать ограничения для каждой из них, что также не просто и требует высокого уровня производства и контроля.

Наиболее высокими характеристиками среди классической меди обладает Чистая (99,95-97% min) и Высокочистая (99,99 % min) Бескислородная Медь, что объясняется более высокими требованиями к характеристикам меди в ряде областей и условиях применения.

### Классическая Бескислородная медь

Марки :	Cu, %min	Cu+Ag, %min	% IACS	RRR 4.2K	$\lambda$ 4.2K / $\lambda$ 293K ~
-- Чистая M06, C10200, C1020, Cu-OF ...	99.95	99.97	100-101	100-120	1
-- Высокочистая M006, C10100, C1011, Cu-OFE ...	99.99	---	101-102	200-250	3-5

*RRR 4.2K - относительное остаточное сопротивление, отношение сопротивлений при 293K и 4,2K ( $RRR\ 4.2K = R\ 293K / R\ 4.2K$ ), во сколько раз падает сопротивление или растет электропроводность при 4,2K по отношению к значению при комнатной температуре*

*$\lambda\ 4.2K / \lambda\ 293K$  - отношение Теплопроводности при 4,2K к Теплопроводности при 293 K, во сколько раз растет теплопроводность в криогенике*

Существует специальная марка меди CG-OFC производства Hitachi Cable Ltd (Япония) для применения в криогенике. Марка меди CG-OFC обеспечивает RRR ~500 и  $\lambda\ 4.2K / \lambda\ 293K \sim 7$ .

Характеристика RRR является показателем насколько чиста и совершенна медь. RRR для очень качественной меди может достигать значений 2000-3000: в одной из исследовательских работ была получена медь в виде монокристалла с RRR ~2000, в другой из работ была исследована медь с характеристиками RRR ~3000 и  $\lambda\ 4.2K / \lambda\ 293K \sim 40$ .

**Электропроводность и Теплопроводность в криогенике при температуре 4,2K от максимально возможных значений:**

- Высокочистая бескислородная медь обеспечивает <10%
- Марка меди CG-OFC для криогеники обеспечивает <20%

## СВЕРХЧИСТАЯ БЕСКИСЛОРОДНАЯ МЕДЬ (SP OFC)

### ВВЕДЕНИЕ – ОБЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ

По стандартам ГОСТ 859-2001 и ASTM B170 уже крайне сложно достичь результата выше 99,995-99,997%, по крайней мере гарантированного и с хорошим химическим составом. Имеются определенные трудности как в классической технологии производства меди, так и в других специальных технологиях очистки.

Поэтому, часто медь 4N5-5N и выше предлагается по техническим условиям, описывающим свой список химических элементов для определения чистоты. Такой список элементов часто сильно отличается от предлагаемого в стандартах ГОСТ 859-2001 и ASTM B170. Нередко изменяются и правила как "высчитывать чистоту" - определяется по части элементов из списка примесей, и даже пределы обнаружения при подсчете чистоты иногда принимаются за 0.

Предлагаемая таким образом 5N и выше медь часто не соответствует классической меди 4N и даже нередко 3N, и может иметь соответствующие характеристики и свойства.

Нами проведены НИОКР и создано экспериментальное производство. Мы получили устойчивые гарантируемые результаты и произвели экспериментальный продукт высочайшего качества:

### Сверхчистая бескислородная медь в слитках

Химическая чистота определена по примесям общепринятых стандартов ГОСТ 859-2001 (Россия) и ASTM B170 (USA), и согласно общепринятым простым математическим правилам подсчета чистоты, которые и определены в этих стандартах.

### Сверхчистая Бескислородная медь

Марки :	Cu, %min	Cu+Ag, %min	% IACS	RRR 4.2K ~	$\lambda$ 4.2K / $\lambda$ 293K ~
-- Сверхчистая Стандарт, Экстра	99.9995 / 99.9997	99.9997 / 99.9998	104-105	1500-3000	20-40

RRR 4.2K - относительное остаточное сопротивление, отношение сопротивлений при 293K и 4,2K ( $RRR\ 4.2K = R\ 293K / R\ 4.2K$ ), во сколько раз падает сопротивление или растет электропроводность при 4,2K по отношению к значению при комнатной температуре

$\lambda$  4.2K /  $\lambda$  293K - отношение Теплопроводности при 4,2K к Теплопроводности при 293 K, во сколько раз растет теплопроводность в криогенике

Прогноз по Электропроводности и Теплопроводности в криогенике при температуре 4,2K от максимальных значений:

- Сверхчистая бескислородная медь 60%-90%

По некоторым данным, до нас наиболее химически чистый образец меди на территории бывшего СССР был произведен в России предположительно в 80-х. Наш продукт не является лабораторными образцами, и мы можем сразу предложить некоторое количество и обсудить сотрудничество. Продукт высочайшего качества и вероятно является лучшим или одним из лучших в мире по химической чистоте и физическим характеристикам.

## СПЕЦИФИКАЦИЯ SP OFC

Химическая чистота определена по примесям общепринятых стандартов ГОСТ 859-2001 (Россия) и ASTM B170 (USA), и согласно общепринятым простым математическим правилам подсчета чистоты, которые и определены в этих стандартах, то есть Пределы обнаружения примесей также учитываются как примеси с соответствующими значениями.

Примеси общепринятых стандартов ГОСТ 859 и ASTM B170 :

P, Ni, Zn, As, Sn, Sb, Pb, Bi, Fe, Ag, Mn, Cd + O, S, Se, Te

Первую группу элементов (P, Ni, Zn, As, Sn, Sb, Pb, Bi, Fe, Ag, Mn, Cd) иногда рассматривают как «Металлы и элементы, обладающие некоторыми свойствами металлов» — «Металлическая основа». Для бескислородной меди чистоты 5N и выше иногда указывают химическую чистоту по этим элементам, но O и S измеряют и указывают в соответствующих пределах и указывается как «Cu 99, ... metals basis, OF».

### Спецификация СВЧ МБ

#### Основные марки и характеристики

*(не для лучших тестов, но для соответствующих методов анализа и квалификации)*

Страна Россия  
Стандарт ООО "Сибнеотэк"

Классификация	Extra ( "+" ~ медиана )		Standard ( "+" ~ медиана )		
	Extra+	Extra	Standard+	Standard	Standard+Ag

Cu OF (% min)	99.9998	99.9997	99.9997	99.9995	99.9993
Cu OF+Ag (% min)	99.9998	99.9998	99.9997	99.9997	99.9997
Cu metals basis, OF (% min)	1 >99.99995	99.9999	99.9999	99.9997	99.9995

#### Химический Состав

Ag (ppm)	2	0.2 max	0.6 max	1 max	2.7 max	5 max
Fe (ppm)	2	0.1 max	0.3 max	0.5 max	1 max	1 max
S (ppm)	3			2 max		
O2 (ppm)	3			2 max		

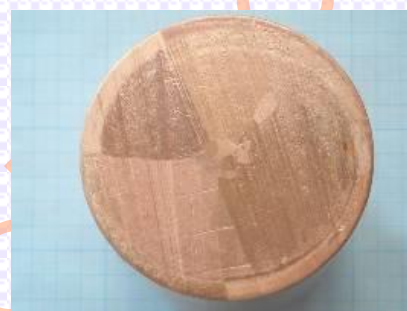
1 Учитываются только металлы и металлоиды из ASTM B170 и ГОСТ. Если указаны O2 и S, то так иногда пишут  
2 Все остальные элементы из ГОСТ, а также таблицы Менделеева ниже пределов обнаружения LMS <0,1-<0,01  
3 Подсчитаны как «2 ppt» (всегда «<1-<3» пределы обнаружения LMS), они меньше

Некоторые Характеристики	% IACS	104 - 105
	RRR = R 293K / R 4.2K	1 500 - 3 000
	λ 4.2K / λ 293K	25 - 40
	λ 4.2K, W/m*K	10 000 - 16 000



#### Форма, размеры, вес и структура слитков СВЧ МБ

Форма	Близкая к цилиндрической
Диаметр	88 – 93 мм
Высота / Длина	типичная 120 – 130 мм )
Вес	типичный ~ 6500 – 7000
Кристаллическая структура	Схожие с монокристаллом



#### О ТЕСТИРОВАНИИ SP OFC

Материал проверялся в различных ведущих лабораториях России, США и Китая. В общей сложности, мы провели более 50 химических анализов, как выборочно, так и для проверки этапов технологии.

Не все методы, оборудование и квалификация позволяют измерять химическую чистоту меди одинаково. Особенно это касается чистоты 5N и выше по элементам из ГОСТ 859 и ASTM B170. Некоторые методы и лаборатории не могут измерить некоторые элементы или некоторые проверить точно, как они есть. Анализ Нашей Меди нуждается в методах соответствующим этому уровню чистоты, в очень хорошей подготовке оборудования, в очень качественных и сверхчистых материалах (химические вещества, резак и другие инструменты работы) для подготовки образца для анализа и самого высокого уровня квалификации.

Тестирование проводилось методами:

- Масс-спектрометрия с тлеющим разрядом (GDMS)
- Масс-спектрометрия с искровым источником (SSMS)
- Масс-спектрометрия с лазерным источником ионов (LMS)
- Масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS)
- Атомно-эмиссионная спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой (ICP-AES).

Наша технология позволяет управлять технологическим процессом и предсказывать химический состав с высокой точностью. Если Пределы обнаружения метода анализа позволяют измерять нужный уровень чистоты и результат неприемлемо расходится с ожидаемым, то мы можем утверждать, что измерение неверно, что. Даже ведущие национальные лаборатории недостаточно точно могут измерять наше качество: требуются специальные возможности и подготовка.

Подтверждением качества нашего продукта являются физические характеристики, независимые от методов химического анализа.

## ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРОВОДИМОСТЬ SP OFC 104 - 105% IACS

Измерения электропроводности проведены для *репрезентативной* выборки, отожженное состояние. При формировании выборки учитывалось известное различное влияние различных примесей на электропроводность, что подтвердилось при измерении и является признаком качества выборки и измерений. В нашем случае, выборка проводилась по Fe и Ag, все другие не определялись (ниже пределов обнаружения). Методами LMS, MC и AES всегда, за некоторым исключением по Fe и Ag, все примеси определяются пределами измерения методов и оборудования, в том числе ВСЕ металлы и металлоиды не входящие в ГОСТ 859-2001 (пределы измерения <0,001 - <0,2 ppm в зависимости от элемента и метода).

*Репрезентативная* выборка формировалась на основании:

- достаточного количества и качества массива данных химических анализов, отражающих химический состав экспериментального продукта
- небольшого, но все отличия кристаллической структуры слитков (от 1-2 до нескольких кристаллов в верхней части)

Зафиксировано изменение Электрической проводимости при изменении содержания Fe на 0,1-0,3 ppm. Влияние Ag в пределах 0,3-3 ppm зафиксировать не удалось, что объяснимо - Ag наименее влияющая примесь.

### Что это означает?

Существующие минимальные отличия кристаллической структуры слитков и Сумма Всех примесей таблицы Менделеева кроме Fe (если примеси и имеют колебания содержания ниже пределов обнаружения методами LMS, MC и AES) суммарно оказывают влияние на электрическую проводимость менее 0,1-0,3 ppm в эквиваленте Fe (одна из самых оказывающих влияние).

Другими словами, наша медь настолько чиста и стабильна в своей чистоте по всей таблице Менделеева, что на Электропроводность оказывает влияние только ограничиваемое нами Fe, даже его очень малые количества... И это является признаком высочайшей стабильности технологии и высочайшего качества произведенного продукта.

## ОТРАЖАТЕЛЬНАЯ СПОСОБНОСТЬ SP OFC

ИПФ РАН (Институт Прикладной Физики Российской Академии Наук) были проведены испытания потерь на отражение нашего образца при 4-300K. Результат очень высок и близок к расчетам для «теоретической меди». В приложении приведены некоторые данные из исследований *потерь на отражение (ПО)* и *поверхностного сопротивления* нашей меди на некоторых частотах от температуры. В оригинальных статьях наша медь упомянута как *высокочистая медь 0,99999* или *особо чистая медь 99,999*.

Стоит отметить, что результат зависел не только от качества нашей меди, но и от качества подготовки поверхности, что не является простым и могло ухудшить результаты. Поверхность была подготовлена качественно и результат крайне высокий. Не так часто находятся материалы по физическим характеристикам достаточно близким к расчетным.

Сами потери на отражение по величине небольшие, но отражаемое излучение греет поверхность отражения и возникают вопросы отвода тепла и другие. Уменьшение ПО дает очевидные выгоды, (в криогенике) для нашей меди на ~ 30-60% ниже (лучше) характеристик классической высокочистой бескислородной меди.

### Что это означает?

В других областях применения меди могут понадобиться и другие (кроме ПО) характеристики. Характеристики RRR и Теплопроводность ожидаются на таком же высоком уровне, как и результаты исследований на ПО и будут близкие к расчетным. Эти характеристики ожидаются в 5-10 раз и более (при соответствующих низких температурах) выше аналогичных характеристик классических бескислородных марок меди M00б (RRR ~200), C10100 (RRR ~200-250) и др.

Такие высокие характеристики могут представлять интерес для соответствующих применений. В некоторых задачах, при отсутствии других ограничивающих физических характеристик и подходящих технологических возможностях, возможен мультипликативный эффект.

### RRR ( R 293K / R T ) ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ

**В виду значительного объема информации смотрите информацию на сайте.**

### ПРИМЕНЕНИЕ SP OFC

Применение полученной сверхчистой меди обусловлено ее характеристиками, отличающимися от классической или другой особо чистой *высочайшей сбалансированной химической чистотой, и, соответственно, физико-химическими и механико-технологическими характеристиками.* В различных областях применения эти различия могут иметь различные выгоды. Применение полученной сверхчистой меди может представлять интерес в изготовлении сверхтонких проволок и лент, медных лазерных зеркал или подложек к ним, тепловых мостов и других изделий (особенно работающих при низких температурах), в электронике (микро/нано, радиационно-устойчивой), нанофотонике, в химии и т. д.

Наибольшие отличия полученной меди будут в низких температурах: Электропроводность и Теплопроводность наибольшие отличия в интервале 5-20К, отражательная способность в интервале 5-50К. Представляют интерес и другие отличающиеся характеристики и свойства. В каждой конкретной области применения, в конкретной задаче и условиях, в соответствии с доминантной характеристикой или набором необходимых характеристик и свойств, эффект от замены может различаться, а также иметь мультипликативный эффект. В некоторых случаях, экономический эффект может не является определяющим - вопрос в существовании материала с соответствующими характеристиками.

**В виду значительного объема информации смотрите также информацию на сайте.**

**БОЛЕЕ ПОЛНАЯ ИНФОРМАЦИЯ НА САЙТЕ, В РУССКОМ ВАРИАНТЕ САЙТА.**