

# Тонкоплёночные платиновые чувствительные элементы для термометров сопротивления

**А.И. Ядевич, директор ОДО “МСМ”**

Республика Беларусь, г. Минск



очность, быстродействие, стабильность, долговечность, надёжность и экономичность – вот характеристики, являющиеся ключевыми для всех современных датчиков, в том числе и для датчиков температуры. Не являются исключением и чувствительные элементы (ЧЭ) термометров сопротивления (ТС). Платиновые ЧЭ рассчитаны на оптимальное сочетание перечисленных характеристик: высокая чистота, химическая устойчивость и физические свойства платины делают её идеальным материалом для изготовления измерительного термосопротивления.

Платиновые температурные датчики с тонкоплёночным исполнением ЧЭ появились на массовом рынке в 70-е годы прошлого века. Сегодня в мире ведущее положение в этом сегменте рынка занимает немецкая фирма Heraeus Sensor Technology GmbH (HST). На российский рынок HST поставляет тонкоплёночные платиновые ЧЭ различных типов, изготовленные непосредственно в Германии.

Тонкоплёночные платиновые ЧЭ представляют собой микроскопический вариант проволочного сопротивления. Роль проволоки определённой длины и диаметра, определяющей сопротивление ЧЭ, выполняет проравленная в форме меандра резистивная дорожка. Изготовление тонкоплёночных платиновых ЧЭ практически полностью автоматизировано и обеспечивается применением современных высокотехнологических операций. На первом этапе изготовления на идеально плоскую поверхность подложки напыляют в высоком вакууме легированную платину, после чего происходит фотолитографическое перенесение на платину рисунка меандра. Последующим травлением платины создаются сенсорные элементы, которые далее перерабатываются в датчики различного исполнения. Температуру среды, в которой находится ЧЭ, определяют по изменению сопротивления резистора.

Каждый тип сенсора с учётом присоединительных проводов к нему рассчитан на определённый рабочий диапазон

температур. Тонкоплёночные ЧЭ, благодаря нормированной характеристической линии, взаимозаменяемы при положительном температурном коэффициенте и демонстрируют высокую точность и долговременную стабильность в широком температурном диапазоне. Температурный коэффициент  $\alpha$  и характеристики тонкоплёночных платиновых ЧЭ соответствуют стандарту IEC 60751, принятому Международной электroteхнической комиссией. Стандарт нормирует характеристики платиновых тонкоплёночных ЧЭ с名义альным сопротивлением 100 Ом при 0°C и  $\alpha = 0,00385^{\circ}\text{C}^{-1}$ .

Тонкоплёночные платиновые ЧЭ имеют следующие преимущества перед термисторами, полупроводниковыми датчиками и термопарами:

- сравнительно низкая стоимость;
- высокая долговременная стабильность;
- большая амплитуда сигнала и простота его обработки;



**Рис. 1**

В приборах управления современными технологическими процессами используются платиновые ЧЭ

- короткое время термической реакции;
- высокая точность;
- незначительное отклонение от номинальных значений (дрейф);
- практически линейная характеристика;
- нормированная характеристика (взаимозаменяемость ЧЭ);
- высокая стойкость к циклическому изменению температуры;
- отсутствие полярности;
- широкий температурный диапазон: от -196 до 1000°C.

## Общие эксплуатационные характеристики тонкоплёночных платиновых ЧЭ

**Измерительный ток и самонагрев.** При прохождении тока тонкоплёночные платиновые ЧЭ нагреваются. Коэффициент самонагрева для каждого типа ЧЭ свой и зависит от термического контакта между ЧЭ и окружающей средой. Если теплопередача в окружающую среду является эффективной, можно применять более высокий ток измерения. Нижняя граница тока измерения не устанавливается и зависит в значительной мере от условий применения термометра. Рекомендуемые токи измерения:

100 Ом .....	max 1 мА
500 Ом .....	max 0,7 мА
1000 Ом .....	max 0,3 мА
2000 Ом .....	max 0,25 мА
10000 Ом .....	max 0,1 мА.

Ошибка самонагрева возникает, если тонкоплёночный платиновый ЧЭ нагружается большим током, чем рекомендованный. Чувствительный элемент с высоким сопротивлением, например Pt 1000, по сравнению с Pt 100 (под тем же током), имеет большую ошибку самонагрева. Чувствительный элемент меньшего размера, например **M 222**, по сравнению с **M 1020** (с одинаковым текущим и номинальным сопротивлением) имеет большую ошибку самонагрева.

**Время термической реакции**, необходимое платиновому тонкоплёночному ЧЭ, чтобы среагировать изменением сопротивления на ступенчатое изменение температуры. В DIN EN 60751 рекомендовано время для 50%- (t<sub>0,5</sub>) и 90%-ного (t<sub>0,9</sub>) изменения. В технических характеристиках ЧЭ t<sub>0,5</sub> и t<sub>0,9</sub> указываются для скоростей потока воды 0,4 м/с и потока воздуха 2,0 м/с. Пересчёт на другие среды и скорости проводится по справочнику VDI/VDE 3522.

**Механические нагрузки, колебания и удары.** Платиновые тонкоплёночные ЧЭ чувствительны к механическим нагрузкам, которые при экстремальных условиях могут повлечь за собой разрушение или растрескивание стеклянного покрытия или керамической подложки. Неправильное обращение или непригодные способы монтажа могут привести к искажению измеряемого сигнала. При надлежащем монтаже платиновые тонкоплёночные ЧЭ имеют высокие показатели ударной и вибрационной прочности:

вибрационная прочность ..... ускорение 40 г  
при частоте вибрационной нагрузки 0...2000 Гц;

ударная прочность ..... ускорение 100 г  
при полупериоде нагружения 8 мс  
(полусинусоидальная ударная нагрузка).

Ограничивающим фактором является обычно способ монтажа.

**Стабильность измерений.** Платиновые тонкоплёночные ЧЭ фирмы HST характеризуются высокой степенью стабильности измеряемого сигнала. Погрешность может стать значительной, если тонкоплёночный ЧЭ подвергся термическому удару в граничной области его допустимого температурного диапазона.

Тонкоплёночные ЧЭ серии **M** подвергались термоударам между -30 и +120°C и показали изменение сопротивления менее 0,01%.

**Классы допуска по DIN EN 60751:2009-05.**

Стандартный выбор (F 0.1, F 0.15, F 0.3):

класс F 0.3 .....	от -50 до +500 °C;
класс F 0.15 .....	от -50 до +300°C;
класс F 0.1 .....	от 0 до +150°C.

Специальный выбор: например, 1/10 F 0.3 при 0°C для небольших партий.

**Долговременная стабильность.** Эффект старения температурных сенсоров вследствие долговременной эксплуатации или температурных ударов может негативно влиять на точность воспроизводимого сигнала. Платиновые сенсоры являются чрезвычайно стабильными температурными датчиками вследствие химической стойкости и гомогенной структуры платины. В зависимости от температурных условий нестабильность тонкоплёночного платинового ЧЭ после 5 лет эксплуатации при 200°C в среднем составляет менее 0,04%.

## Номенклатура тонкоплёночных платиновых продуктов Heraeus Sensor Technology

Фирма HST постоянно поддерживает обратную связь со своими потребителями, учитывая в своей работе – от конструкторских разработок до массового производства структурированных платиновых тонкоплёночных слоев – самые актуальные требования рынка.

• ЧЭ для термометров сопротивления с проволочными выводами

C – для криогенных температур (-196 до +150°C). Номинальное сопротивление датчиков этого типа 100 /1000 Ом. Температурный коэффициент  $\alpha = 0,00385^{\circ}\text{C}^{-1}$ . У тонкоплёночных ЧЭ этого типа объединяются идеальная линейная характеристика проволочных платиновых ЧЭ в керамическом корпусе с чрезвычайно высокой вибрационной устойчивостью проволочных ЧЭ в стеклянном корпусе, и поэтому они являются превосходной альтернативой проволочным платиновым ЧЭ. Выводы для этого типа датчиков выполнены из AuPd- или AgPd-проводники. Характеризуются долгосрочной стабильностью, превосходной устойчивостью к циклическому изменению температуры в широком температурном диапазоне. Отклонение от характеристик стандарта DIN EN 60751 в температурном диапазоне -196 до +500°C является минимальным, отсутствует явление гистерезиса;

**L** – для низких температур (-50 до +400°C). Номинальное сопротивление датчиков этого типа 100 / 500 / 1000 Ом. Температурный коэффициент  $\alpha = 0,00385^{\circ}\text{C}^{-1}$ . Выводы выполнены из AgPd-проводоки. Тонкоплёночные ЧЭ этого типа характеризуются долгосрочной стабильностью, высокой точностью в широком температурном диапазоне и компактностью. ЧЭ **L 220P** предназначен для измерения температуры поверхности. Сенсор **L 410ax** изготовлен с аксиальным расположением выводов;

**M, MN, MH** – для средних температур (-70 до +600°C). Номинальное сопротивление ЧЭ этого типа 100 / 500 / 1000 Ом. Температурные коэффициенты:  $\alpha = 0,00385^{\circ}\text{C}^{-1}$  и  $\alpha = 0,00375^{\circ}\text{C}^{-1}$ . Для выводов этого типа датчиков используется проволока из AuPd-сплава или никелевая проволока в платиновой оболочке. Датчики **M 410ax** и **MH 410ax** изготовлены с аксиальным расположением выводов. Кроме выводов круглого сечения, некоторые датчики имеют ленточные выводы с прямоугольным сечением DBS (Direct Bonding Strip) и DBW (Direct Bonding Wire). Новая технология позволяет изготавливать ЧЭ с выводами длиной до 210 мм. Ленточные выводы обеспечивают ЧЭ стабильность в процессе монтажа, которую не обеспечивают выводы из провода круглого сечения. Платиновые ЧЭ **M 622** изготавливаются с номинальным сопротивлением 1000 / 2000 / 10000 Ом. Характеризуются долгосрочной стабильностью, высокой точностью в широком температурном диапазоне и компактностью;

**H, HA, HD, HL** – для высоких температур (-70 до +1000°C). Номинальное сопротивление ЧЭ этого типа 100 / 200 / 1000 Ом. Температурный коэффициент  $\alpha = 0,00385^{\circ}\text{C}^{-1}$  и  $\alpha = 0,00377^{\circ}\text{C}^{-1}$ . Выводы для этой серии ЧЭ выполнены из Pt-, PtNiCr-, PtPd-проводоки. Платиновые ЧЭ серии **H** характеризуются высокой точностью и долгосрочной стабильностью в очень широком температурном диапазоне.

- Сенсорные компоненты SMD, SOT 223, TO 92

Температурный диапазон применения этих ЧЭ от -50 до +150°C. Номинальное сопротивление ЧЭ этого типа 100 / 500 / 1000 / 10000 Ом. Температурный коэффициент  $\alpha = 0,00385^{\circ}\text{C}^{-1}$ .

Платиновые тонкоплёночные ЧЭ серии SMD, а также ЧЭ TO 92 и SOT 223 в стандартных пластмассовых корпусах характеризуются нормированным сигналом согласно стандарту DIN EN 60751, взаимозаменяемы и обладают высокой долгосрочной стабильностью и точностью. Температурные сенсоры в корпусах для поверхностного монтажа разработаны для автоматической установки в печатные платы.



Рис. 2  
ЧЭ HL 220 устойчив к температурам до 750°C

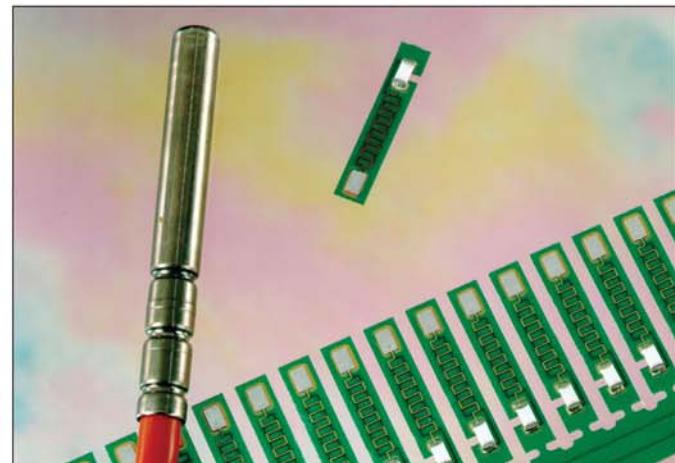


Рис. 3  
Сенсор серии PCB (SMD 0805 FC) на элементе печатной платы для тепловых измерений

Температурные сенсоры в корпусе TO 92 предназначены для общего применения.

- Температурные сенсоры специальной конструкции

Для применения в автомобильной, энергетической, авиационной и других отраслях промышленности требуются термометры в специальных корпусах. Измеряемый диапазон температур -70...1000°C. Номинальное сопротивление датчиков этого типа 100, 200, 500 и 1000 Ом.  $\alpha = 0,00385^{\circ}\text{C}^{-1}$  и  $\alpha = 0,00377^{\circ}\text{C}^{-1}$ .

Тонкоплёночный платиновый температурный сенсор на элементе проводящей платы серии PCB разработан специально для тепловых измерений и удовлетворяет повышенным требованиям в этой области: высокая степень точности, долгосрочная стабильность, минимальная цена, возможность автоматизированного монтажа. Измерительным элементом этих сенсоров является ЧЭ серии SMD, расположенный на проводящей плате. Сенсор связан с контактными площадками проводящей шиной в форме меандра, что позволяет уменьшить отвод тепла и повысить точность измерений.

Платиновые ЧЭ серии MR 518 G каплевидной формы имеют малые размеры. Характеризуются коротким временем термической реакции, высокой точностью в широком температурном диапазоне, долгосрочной стабильностью и компактностью. Применяются в автомобильной промышленности, при производстве бытовой, нагревательной и климатической техники, теплогенераторов, а также при производстве медицинских и исследовательских приборов и оборудования.

С учётом специфики условий применения тонкоплёночные платиновые ЧЭ могут заключаться в разные типы корпусов – керамические, пластмассовые корпуса или металлические гильзы – а также располагаться на проводящей плате или монтироваться в специальном корпусе. По индивидуальному техническому заданию заказчика в HST могут быть специально спроектированы и изготовлены датчики, рассчитанные на измерение температуры в строго определённых, уникальных условиях применения. При этом датчики изготавливаются в виде готовых модулей, которые можно монтировать непо-

средственно на объекте заказчика с минимальными технологическими затратами. Временные и производственные затраты, связанные с заключением ЧЭ в корпус, в этом случае значительно снижаются или исключаются.

- Сенсорные модули

Сенсорные модули являются мультифункциональной базой на основе платиновой тонкоплёночной технологии. Они состоят, например, из комбинации сенсор / нагреватель и специфических для каждого конкретного применения структурированных электродов. На электроды могут наноситься разные чувствительные слои в зависимости от нужд потребителя. Например, нанесением металлических оксидов на электрод можно изготовить мультисенсорную платформу для газового датчика, который будет измерять концентрацию кислорода, окиси углерода, окиси азота или метана с точностью до единиц ppm. Наряду с типовым применением при изготовлении приборов и оборудования для определения состава газовой среды и измерения влажности, мультисенсорные платформы возможно использовать для аналитических измерений в жидких средах, например, в медицинской технике и биотехнологиях.

- Новейшие разработки

Последние достижения в области совершенствования технологий осаждения из газовой фазы, ионного травления, успешные работы по оптимизации технологических процессов

фотолитографии и изготовлению материала подложки с абсолютно плоской поверхностью позволили фирме HST получать тонкоплёночные структуры до 2...3 мкм и изготавливать высокотехнологические датчики высочайшего качества (для сравнения: человеческий волос имеет диаметр 50...100 мкм!).

Этот инновационный прорыв позволил изготовить миниатюрные датчики **SMD 603** и датчики с повышенным номинальным сопротивлением 10 кОм **M 622** и **SMD 805**. Высокое сопротивление обеспечивает превосходный выходной сигнал.

С помощью новых технологических процессов были изготовлены тонкоплёночные ЧЭ с проволочными выводами очень малых размеров, например **M213, M310**. Чувствительный элемент **M 213** имеет размеры в плане 1,2 × 1,7 мм. Время термической реакции в движущейся воде ( $v = 0,4 \text{ м/с}$ ):  $t_{0,5} = 0,04 \text{ с}$ ,  $t_{0,9} = 0,12 \text{ с}$  и в потоке воздуха ( $v = 2,0 \text{ м/с}$ ):  $t_{0,5} = 2,2 \text{ с}$ ,  $t_{0,9} = 7,0 \text{ с}$ . Малые габаритные размеры тонкоплёночных ЧЭ способствуют увеличению их быстродействия.

Среди новинок последних лет следует указать ЧЭ для высокотемпературных измерений. Это **HD 421**, который позволяет измерять температуру до 850°C, а также тонкоплёночный платиновый ЧЭ серии **HA 421** – до 1000°C. Чувствительный элемент **HD 421**, изготовленный по тонкоплёночной технологии, является альтернативой термопарам с их малым, восприимчивым к помехам, исходным сигналом, демонстрирующим ярко выраженное старение при температурах более 800°C.

Фото Heraeus Sensor Technology

На правах рекламы

## Heraeus Sensor Technology GmbH

# Тонкоплёночные платиновые датчики температуры

*измерять и регулировать*  
**от -200 до +1000°C**

подробности:

<http://heraeus-sensor-tehnology.de/ru>

Официальный представитель

Heraeus Sensor Technology

в странах СНГ **ОДО «МСМ»**

пр. Независимости, 78А, оф. 3, 220012, г. Минск, РБ  
Тел./факс: (+375 17) 280-5861. E-mail: mcm@mail.belpak.by

Представитель Heraeus Sensor Technology  
в России **ООО «Сенсорика»**

1-й Щемиловский пер., д. 16, строение 2  
103473 г. Москва, Россия  
Тел./факс: + (495) 223-0038. E-mail: info@sensoriga.ru

