

Тонкоплёночные платиновые чувствительные элементы термометров сопротивления при монтаже и эксплуатации

Александр Ядевич (г. Минск, Беларусь)

В статье рассмотрены некоторые параметры тонкоплёночных платиновых чувствительных элементов, оказывающих влияние на процесс изготовления термометров сопротивления и их последующую эксплуатацию.

ВВЕДЕНИЕ

Долговечность и надёжность даже в критических условиях применения приобретает всё возрастающее значение для чувствительных элементов (ЧЭ) термометров сопротивления (ТС). Высокая чистота и химическая устойчивость, а также физические свойства платины определяют её использование в качестве материала для ЧЭ.

С внедрением тонкоплёночной технологии в 1970-х годах началось развитие специальных версий температурных ЧЭ для массовых рынков. Накопленный опыт и постоянное стремление к совершенствованию позволяет сегодня изготавливать сравнительно дешёвые тонкоплёночные платиновые ЧЭ и корпусированные температурные датчики с применением современных производственных методов, таких как вакуумное напыление и фотолитография. На рынке доступны температурные датчики со значениями номинального сопротивления 100, 200, 500, 1000, 2000 и 10 000 Ом.

Фирма Heraeus Sensor Technology (HST) поставляет сегодня на мировой рынок долговечные, точные и воспроизводимые тонкоплёночные

платиновые ЧЭ и температурные датчики. Основанием для рыночного превосходства является не только владение свойствами материалов и процессами нанесения различных слоёв и покрытий, но и применение надёжных технологических процессов производства, продуманного и чёткого управления качеством продукции.

Кроме нескольких десятков миллионов температурных датчиков, фирма HST производит также датчики потока газовой массы для систем управления катализатором дизельных двигателей и мультисенсорные платформы, используя свои наработки в области тонкоплёночных технологий на основе платины.

Основными потребителями температурных датчиков фирмы HST являются производители автомобилей, бытовой техники, приборов управления технологическими процессами, техники для отопления и вентиляции, для научных исследований в области естествознания и электроники и высокотехнологичных производств.

Все стандартные платиновые тонкоплёночные температурные датчики фирма HST изготавливает с соблюде-

нием современных норм по RoHS и REA, позволяющих обеспечить требуемый уровень защиты здоровья людей и окружающей среды.

Фирма HST классифицирует производимые тонкоплёночные платиновые температурные сенсоры следующим образом:

- ЧЭ термометров сопротивления с проволочными выводами:
 - С – для криогенных температур (–196...500°C),
 - L – для низких температур (–50...400°C),
 - М (MN, MH) – для средних температур (–70...600°C),
 - Н (НА, HD, HL) – для высоких температур (–70...1000°C);
- сенсорные компоненты в корпусах для поверхностного монтажа SMD, SOT 223 и TO 92;
- температурные датчики специальной конструкции (L 622 DBC, LG, PCB, MR 518 G, MR 828/845);
- сенсорные модули (MSP 332, MSP 632, MSP 769, микронагреватель Pt 6,8 M1020).

Классы допуска

Фирма HST поставляет платиновые температурные датчики в соответствии с DIN EN60751. Классы допуска для плёночных ЧЭ представлены в таблице 1.

Используя тонкоплёночные платиновые температурные сенсоры фирмы HST, можно изготавливать термометры либо использовать в качестве термометров датчики с классами допуска, представленными в таблице 2.

Кроме того, тонкоплёночные платиновые ЧЭ могут группироваться по допуску с максимальным $\Delta t = 0,1$ К в диапазоне от 0 до 100°C. Имеются также ЧЭ с иными классами допуска для других ценовых диапазонов, например 1/10 В, или с классом допуска 2В и $\pm 0,5\%$.

Ниже приведены некоторые технические и технологические параметры, обеспечивающие выполнение основных технических требований к тонкоплёночным платиновым ЧЭ тер-

Таблица 1. Классы допуска для плёночных ЧЭ

Класс допуска	Диапазон измерений, °C	Предельное отклонение, °C
F 0,1	От 0 до +150	$0,1 + 0,0017 t $
F 0,15	От –30 до +300	$0,15 + 0,002 t $
F 0,3	От –50 до +500	$0,3 + 0,005 t $

Таблица 2. Классы допуска для термометров

Класс допуска	Диапазон измерений, °C	Предельное отклонение, °C
AA	От 0 до +150	$0,1 + 0,0017 t $
A	От –30 до +300	$0,15 + 0,002 t $
B	От –50 до +500	$0,3 + 0,005 t $

мометров сопротивления и влияющие на их эксплуатационные характеристики.

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ТОК И САМОНАГРЕВ

Прохождение тока нагревает тонкоплёночные платиновые ЧЭ. Чем меньше измерительный ток, тем меньше самонагрев ЧЭ и, соответственно, ниже погрешность измерения. Коэффициент самонагрева указывается в характеристике каждого типа ЧЭ. Он зависит в первую очередь от термического контакта между ЧЭ и окружающей средой. Если теплопередача в окружающую среду является эффективной, может применяться больший ток измерения.

Для тонкоплёночных платиновых ЧЭ не устанавливается нижняя граница тока измерения. Измерительный ток зависит в значительной мере от условий применения термометра. Рекомендуемый ток измерения:

- 100 Ом – макс. 1 мА,
- 500 Ом – макс. 0,7 мА,
- 1000 Ом – макс. 0,3 мА,
- 2000 Ом – макс. 0,25 мА,

- 10000 Ом – макс. 0,1 мА.

Ошибка от самонагрева возникает в том случае, когда тонкоплёночный платиновый ЧЭ нагружается большим током, чем рекомендуемый. Чувствительный элемент с высоким номинальным сопротивлением, например Pt 1000, по сравнению с Pt 100 (при том же токе) имеет большую ошибку самонагрева. Чувствительный элемент меньшего размера, например М 222, по сравнению с М 1020 (с одинаковым текущим и номинальным сопротивлением) имеет большую ошибку самонагрева.

СТАБИЛЬНОСТЬ ТОНКОПЛЁНОЧНЫХ ПЛАТИНОВЫХ ЧЭ

Эффект старения температурных сенсоров вследствие долговременной эксплуатации или термоциклических воздействий может негативно влиять на точность воспроизводимого сигнала. По этой причине долговременная стабильность ЧЭ имеет в некоторых случаях первостепенное значение.

Вследствие высокой химической стабильности и гомогенности приме-

няемой платины, температурные сенсоры на её основе являются чрезвычайно стабильными температурными датчиками. В зависимости от температурных условий изменение сопротивления после пяти лет эксплуатации при 200°C обычно составляет менее 0,04%. Стандартные условия испытаний охватывают 250, 500 и 1000 ч.

Погрешность может стать значительной, если тонкоплёночный ЧЭ подвергся циклическому изменению температуры в граничной области его допустимого температурного диапазона. Тонкоплёночные ЧЭ типа М подвергались циклическому изменению температуры в диапазоне от -30 до +120°C и показали изменение сопротивления менее 0,01%.

Термоциклические и долговременные испытания могут проводиться и по индивидуальным требованиям конкретного потребителя.

ВРЕМЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ

Время термической реакции – это время, которое необходимо тонкоплёночному платиновому ЧЭ, чтобы среагировать изменением сопротивления

на ступенчатое изменение температуры. В DIN EN 60751 рекомендовано время для 50 и 90% того изменения, которое указывается в характеристиках тонкоплёночных платиновых ЧЭ для потока воды и воздуха со скоростями 0,4 и 2,0 м/с соответственно. Пересчёт на другие среды и скорости производится с помощью справочника VDI/VDE 3522.

ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ

Платиновые тонкоплёночные ЧЭ практически не вырабатывают термоэлектродвижущей силы. Разность потенциалов может возникать вследствие разности температур вдоль самого ЧЭ. Вследствие её незначительной величины и в связи с высокой теплопроводностью керамической (Al_2O_3) подложки, она может не учитываться.

Типичная погрешность, которая может возникать в некоторых случаях, составляет для ЧЭ типа М с номинальным сопротивлением 1000 Ом менее 0,005°C. При использовании переменного тока эта погрешность ещё меньше.

МЕХАНИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ

Платиновые тонкоплёночные ЧЭ чувствительны к механическим нагрузкам, которые при экстремальных условиях могут привести к разрушению или растрескиванию стеклянного защитного покрытия или керамической подложки. Неправильное обращение или непригодные способы монтажа могут привести к изменению измеряемого сигнала. Необходимо строго соблюдать указания по применению ЧЭ.

Выводы для крепления соединительных проводов в процессе изготовления подвергаются испытаниям на рас-

тяжение и отрыв. В случае никелевой проволоки с платиновым покрытием изделия являются пригодными, если аксиальная нагрузка составляет не более 8 Н (кроме случаев герметизации стеклом или керамикой).

ТЕХНИКА МОНТАЖА

Температурные датчики являются высокоточными элементами, и поэтому необходимо обеспечить бережное обращение с ними во время монтажа. В качестве захватов можно рекомендовать пластмассовые пинцеты. Токопроводящие провода вблизи корпуса сенсора не должны изгибаться. Необходимо избегать также многократного изгиба присоединительных проводов.

В таблице 3 приведены рекомендуемые технологические способы соединения выводов сенсоров с удлинительными проводами в зависимости от материала выводов (рекомендации HST).

Следует иметь в виду, что уменьшение или удлинение контактных проводов влияет на результаты измерений. Это особенно важно для ЧЭ с низким номинальным сопротивлением.

Наилучшие результаты по надёжности соединения выводов тонкоплёночных ЧЭ с удлинительными проводами в ТС (кроме типов С и L) достигаются при использовании контактной, лазерной или ультразвуковой сварки. При ультразвуковой сварке выводы тонкоплёночных ЧЭ следует отогнуть от плоскости тела датчика, чтобы исключить внутренние повреждения.

Хорошие результаты достигаются также пайкой как «мягкими», так и «твёрдыми» припоями. Используются любые припой, рекомендованные для пайки конкретных материалов выводов ЧЭ и материалов проводников. Для ЧЭ типов С и L наилучшие результаты

по надёжности соединения достигаются при пайке «мягкими» припоями. При твёрдой пайке необходимо следить за тем, чтобы корпус датчика не нагревался до температур, превышающих максимальную измеряемую температуру. При твёрдой пайке время процесса не должно превышать 3 с.

Механические способы монтажа ЧЭ при изготовлении ТС, такие, например, как обжимка или опрессовка, также пригодны для удлинения токопроводящих проводов. При механических способах монтажа необходимо избегать высокого электрического сопротивления в месте соединения. Чтобы обеспечить минимальное контактное сопротивление, рекомендуется использовать газонепроницаемую оболочку.

При всех способах монтажа необходимо следить за тем, чтобы коэффициенты термического расширения различных применяемых материалов согласовывались друг с другом. Это позволит избежать механических напряжений, которые могут влиять на сигнал датчика. Позицию присоединённого ЧЭ в термометре сопротивления ни в коем случае нельзя изменять за счёт дополнительного перемещения тела сенсора.

СХЕМА СОЕДИНЕНИЯ ВНУТРЕННИХ ПРОВОДОВ

Стандартная двухпроводная схема соединения внутренних проводов не всегда обеспечивает высокую точность ТС; ГОСТ 8.625–2006 для ТС классов допуска АА и А не допускает использования двухпроводной схемы соединения. Трёх- или четырёхпроводную схему соединения рекомендуется использовать:

- при длинном кабеле, сопротивление и температурная зависимость сопротивления которого имеют существенные значения;
- для тонкоплёночных платиновых ЧЭ с высоким классом допуска;
- при значительных электромагнитных помехах.

ХРАНЕНИЕ ЧЭ

При хранении тонкоплёночные платиновые ЧЭ не должны подвергаться воздействию агрессивных и коррозионных сред. Для отдельных типов сенсоров необходимо соблюдать особые правила хранения.

Для тонкоплёночных платиновых ЧЭ с выводами для крепления соеди-

Таблица 3. Технологические способы соединения выводов датчиков с удлинительными проводами

Тип датчика	Диапазон измерений, °C	Материал выводов	Способ соединения			
			Сварка	Пайка твёрдым припоем	Пайка мягким припоем	Обжимка, опрессовка
C	-196...500	AgPd	-	-	+++	++
L	-50...400	AgPd	-	-	+++	++
M	-70...500	Ni в Pt-оболочке	+++	++	++	++
MN	-70...500	Ni	+++	++	-	++
NM	-70...600	Pd в Pt-оболочке	+++	++	0	0
HL	-70...750	Ni/Cr в Pt-оболочке	+++	++	0	0
HD	-70...850	Pt	+++	0	0	0
HA	-70...1000	Pt	+++	0	0	0

+++ – очень хорошо

++ – хорошо

0 – не рекомендуется применять

-- не применять

нительных проводов особые условия хранения необходимы только для типов L и C, у которых выводы изготовлены из проволоки AgPd. При неправильном хранении и отсутствии защиты на поверхности образуется слой Ag₂O (коричневый) и, соответственно, Ag₂S (чёрный). Следствием этого является снижение способности к пайке мягкими припоями.

Поскольку этот процесс зависит от условий окружающей среды, защиту тонкоплёночных платиновых ЧЭ можно осуществлять, если их хранить в атмосфере азота, в вакууме или в закрытой упаковке, например, полиэтиленовом мешочке, дополнительно обернутом алюминиевой фольгой.

Оксиды, уже образовавшиеся на поверхности, легко удаляются кратковременным нагревом ЧЭ, например, до температуры 350°C (тип L).

Тонкоплёночные ЧЭ типа M с PtNi-выводами не имеют проблем со сроками хранения.

ЛИТЕРАТУРА

1. www.heraeus-sensor-technology.ru.
2. www.mcm-sensor.ru.
3. ГОСТ Р 8.625-2006. Государственная система обеспечения единства измерений. Термометры сопротивления из платины, меди и никеля. Общие технические требования и методы испытаний.
4. IEC 60751 (2008) Industrial platinum resistance thermometers and platinum temperature sensors.
5. Ядевич А. Платиновые тонкоплёночные датчики температуры фирмы Heraeus Sensor Technology. Современная электроника. 2006. № 6. С. 36–39.
6. Ядевич А. Тонкоплёночные платиновые чувствительные элементы для термометров сопротивления. Мир измерений. 2010. № 3. С. 52–55.
7. Kleiner, schneller, billiger, besser – neue Platin-Dünnschichtsensoren. Sensor Magazin. 2003. № 3.
8. Hacker G., Rudnizki B. Ever-Stable Platinum Sensors. Sensor Report. 2009. № 3. P. 6–7.
9. Kerkhoff G. Platin in Dünnen Schichten. Sensor Magazin. 2009. № 2. P. 34–36.
10. Heraeus Sensor Technology. Надёжные тонкоплёночные датчики температуры. Каталог. 2010.



Новости мира News of the World Новости мира

Первый компьютер миллиметрового масштаба

Специалисты отделения электротехники и вычислительных машин Мичиганского университета построили прототип модуля, который они называют первым в мире компьютером миллиметрового масштаба. Его объём составляет всего 1 куб. мм, а предназначен он для имплантации в глазное яблоко пациентам, страдающим глаукомой.



В столь миниатюрном корпусе уместились микропроцессор ультранизкой мощности, датчик давления, модуль памяти, аккумулятор на тонких плёнках, солнечная батарея, а также радиомодуль с антенной для трансляции данных на внешние устройства. В качестве процессора выступает чип Phoenix третьего поколения, разработанный авторами проекта; чип отличается ультранизким потреблением энергии. Система производит измерения каждые 15 мин и потребляет в среднем 5,3 нВт. Аккумулятор заряжается от солнечной батареи, для чего ему ежедневно требуется 10 ч искусственного света или 1,5 ч настоящего солнечного. Коммерческий выпуск устройства ожидается через несколько лет.

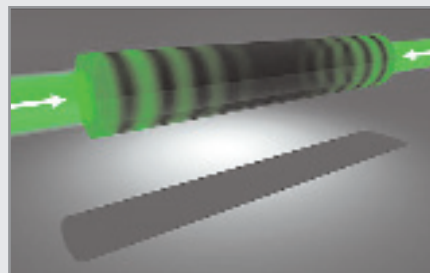
<http://www.slashgear.com/>

Разработан первый в истории антилазер

Группа учёных из Йельского университета в США объявила о том, что им удалось создать работающий прототип устройства, которое практически полностью способно поглощать лазерный луч. Разработка в данном направлении была начата менее года назад.

Устройство, созданное учёными, помещает два направленных в противоположные стороны лазерных луча в специальную оптическую полость, где направление света меняется с прямолинейного на спиральное, благодаря чему лучи гасят друг друга при встрече. Теоретически подобные схемы рассеивания лазерных лучей были известны научному сообществу уже дано, но практическая реализация идеи была осуществлена лишь сейчас.

По словам представителей исследовательской группы, когда они начинали разработку данного устройства, никто даже не думал, что в итоге удастся добиться подобной степени поглощения излучения.



Антилазер, а именно такое название получила новая разработка, имеет огромный потенциал применения в различных сферах науки и техники, включая медицинское

оборудование, компьютерные вычисления, различные исследования и др.

<http://arstechnica.com/>

Учёные научились создавать кубиты на кремнии

Группа учёных из Оксфордского университета (University of Oxford) сделала важный шаг на пути создания быстродействующего квантового компьютера. Исследователям удалось создать 10 млрд. запутанных пар квантовых битов (кубитов) на кристалле кремния. Кубиты считаются основным элементом квантового компьютера, но получить их на кремнии до сих пор не удавалось.

В качестве кубитов учёные использовали спины электронов и ядер атомов фосфора. Кристалл кремния сверхвысокой очистки был легирован фосфором и охлаждён до температуры 2,9°K. С помощью сильного магнитного поля спины электронов фосфора были приведены к одному состоянию, а затем короткими микроволновыми и радиочастотными импульсами были спутаны со спинами атомов. Один из руководителей группы Джон Мортон (John Morton) говорит, что это важное достижение, которое позволит в будущем создать масштабируемый квантовый компьютер на существующей технологической базе. Следующей задачей, которую предстоит решить исследователям, станет создание связи между запутанными парами. Исследователи считают, что такая система уже может найти применение в квантовых вычислениях.

<http://www.physorg.com/>