

УДК 621.316.825

Д. А. ДИНЕВ¹, к. т. н. В. Д. ЖОРА², Н. Н. ГРИГОРЬЕВА², В. П. ГРУНЯНСКАЯ²Болгария, г. Стара Загора, ¹«Милкотроник-ЛТД»;
Украина, г. Киев, ²НИИ микроприборов НТК «ИМК» НАНУ

E-mail: vdzhora@ukrpost.net

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ГИБКИХ ТЕРМОРЕЗИСТОРОВ НА ПОЛИИМИДНОЙ ОСНОВЕ

Разработана технология изготовления гибких терморезисторов на полиимидной основе и рассмотрены их преимущества в сравнении с другими сенсорами температуры. Такие терморезисторы обеспечивают надежный тепловой контакт с контролируемым объектом сложной формы, кроме того, они малоинерционны, надежны, просты в изготовлении.

Ключевые слова: измерение температуры, терморезисторы, чувствительные элементы, никелевая фольга, полиимидная пленка.

Для измерения температуры наряду с термодатчиками часто применяются как металлические, так и полупроводниковые резистивные сенсоры, имеющие известную зависимость электрического сопротивления от температуры. Наибольшее распространение среди них получили терморезисторы (термометры сопротивления), изменяющие свое сопротивление под влиянием внешней среды. Они состоят из одного или нескольких чувствительных элементов (ЧЭ), помещенных, как правило, в герметичный защитный корпус, и имеют внешние клеммы (контактные площадки), предназначенные для подключения к измерительному прибору. Наиболее часто для изготовления ЧЭ металлических терморезисторов применяются платина, медь, никель [1]. Платина имеет более высокий температурный коэффициент сопротивления и высокую стойкость к окислению, однако отличается высокой стоимостью, в силу чего содержащие ее приборы требуют особого учета при эксплуатации и утилизации.

Чувствительные элементы терморезисторов выполняются в виде проволоки или пленочных проводников, получаемых различными методами, например напылением и травлением пленки или фольги. Защитный корпус, в который помещается ЧЭ, чаще всего представляет собой сваренную с одной стороны металлическую трубку длиной от 10 мм до нескольких метров и диаметром от 3 до 12 мм. Очевидно, что массивные корпуса существенно увеличивают инерционность сенсоров температуры и, соответственно, ухудшают точность измерений. Достижение точности измерения температуры требует также хорошего теплового контакта с контролируемым объектом, который не всегда легко обеспечить, особенно в случае объектов сложной формы, например конической или цилиндрической (трубки, сосуды и т. п.). Примером одной из таких задач может

служить контроль и регулирование температуры жидкости или газа, движущихся или находящихся в цилиндрической трубке. Для этой цели наиболее предпочтительными оказываются гибкие терморезисторы, изгибая которые, можно легко добиться надежного контакта всей поверхности сенсора с поверхностью объекта.

Рассмотрим особенности применения металлических терморезисторов. Их преимуществами являются высокая точность измерений (обычно лучше $\pm 1^\circ\text{C}$, в ряде случаев может достигать $0,01^\circ\text{C}$); практически линейная характеристика; простота изготовления и применения (нет необходимости в поправках на температуру свободных концов, как у термопар); относительная дешевизна; надежность.

Точность измерения температуры с помощью терморезисторов зависит от ряда факторов [2]:

- терморезистор имеет собственную теплотемпературу, которая будет тем меньше, чем меньше его масса, включая массу корпуса;
- терморезистор обменивается теплом как с измеряемым объектом, так и с окружающей средой, а также с измерительным прибором посредством соединительных проводов;
- в процессе измерения температуры наблюдается собственное тепловыделение, которое зависит от величины тока измерения.

На основании анализа эквивалентной термоэлектрической схемы измерения температуры с использованием терморезисторов в [2] показано, что малоинерционность и высокая точность измерения температуры обеспечиваются при наличии хорошего теплового контакта терморезистора с контролируемым объектом и его надежной теплоизоляции от внешней среды. Для уменьшения собственного тепловыделения измерительный ток должен быть достаточно низким.

Вышеперечисленным условиям наиболее полно удовлетворяют гибкие терморезисторы на полиимидной основе (пленке), изготовленные фотолитографическим методом из двухслойного материала «никель — полиимид» [3] с толщиной слоев 7 и 10 мкм соответственно (марки ЭФН-7 по ТУ БУО.023.090).

Целью настоящей работы являлась разработка технологии изготовления гибких терморезисторов на полиимидной основе с номинальным сопротивлением от 100 до 500 Ом как наиболее перспективных для контроля температуры объектов сложной формы.

Технологический процесс изготовления гибких терморезисторов включает в себя следующие операции:

- подготовка поверхности материала;
- нанесение фоторезиста;
- экспонирование;
- проявление;
- травление слоя никеля;
- удаление фоторезиста;
- контроль и измерение сопротивления;
- дотравливание (подгонка до номинала);
- лакирование;
- финишный контроль.

Подготовку поверхности материала проводят в два этапа. Вначале заготовки обрабатывают в горячем ($70 \pm 5^\circ\text{C}$) растворе углекислого натрия и после промывки подтравливают в специально подобранном кислотном растворе для увеличения адгезии фоторезиста. После тщательной промывки заготовки высушивают в сушильном шкафу.

В технологическом процессе используется негативный фоторезист ФН-11С на основе циклокаучука с бисазидом, образующий на гибких подложках эластичный защитный рельеф. Фоторезист наносится методом погружения по ранее разработанной методике [4]. Метод обеспечивает получение оптимальной толщины светочувствительного слоя (порядка 1,5 мкм) в диапазоне рабочих температур при различной вязкости фоторезиста, допускаемой техническими условиями на него. Сушат нанесенный фоторезистивный слой при стандартных режимах.

При экспонировании применяются пленочные фотошаблоны и специальная вакуумная рама, изготовленная с использованием прозрачных пленок с тиснением поверхности, что обусловлено малым шагом (до 90 мкм) и малой шириной (35–45 мкм) вытравливаемых проводников (рис. 1). При откачке воздуха из рамы между двумя пленками с тисненной поверхностью об-

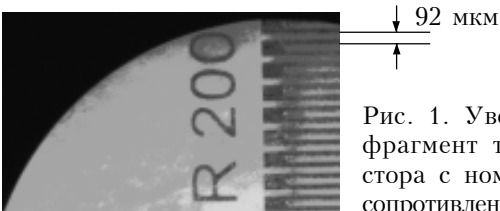


Рис. 1. Увеличенный фрагмент терморезистора с номинальным сопротивлением 200 Ом

разуются каналы, обеспечивающие более полное удаление воздуха и, следовательно, более качественный прижим фотошаблона к гибкой подложке со светочувствительным слоем. Таким образом исключается образование воздушных микропузырьков, которые подобно линзам могут исказить рисунок формируемого в процессе экспонирования защитного рельефа. Глубина вакуума в раме в процессе экспонирования контролируется вакуумметром.

Проявляют защитный рельеф, учитывая малую ширину проводников и зазоров между ними, последовательно в трех порциях уайт-спирита с последующей промывкой в бутилацетате и сушкой в потоке теплого воздуха. Термическое дубление полученного защитного рельефа проводят в два приема при температуре 100 ± 10 и $150 \pm 10^\circ\text{C}$ с выдержкой по часу при каждой температуре.

Для формирования чувствительного элемента (змейки) с контактными площадками проводится травление слоя никеля в специально разработанном растворе, обеспечивающем оптимальные характеристики процесса (скорость травления, величину неровности края 1–3 мкм, равномерность травления по полю заготовки с сенсорами).

Для удаления фоторезиста заготовки обрабатывают в горячем смывающем составе «Форсан-2» и последовательно промывают в алкилбензолах и бутилацетате.

Визуальный контроль изделий проводят под микроскопом МБС-9 при увеличении $\times 16$. При этом помечают бракованные сенсоры. На годных изделиях измеряют сопротивление.

Дотравливание сенсоров до нужных значений номинального сопротивления $R_{\text{ном}}$ проводят в том же растворе, что и травление никелевого слоя. При этом время повторного травления определяют по экспериментальному графику (рис. 2), в зависимости от значения сопротивления сенсора, измеренного на предыдущей операции. Результаты подгонки сопротивления контролируют сразу после тщательной промывки и сушки сенсора.

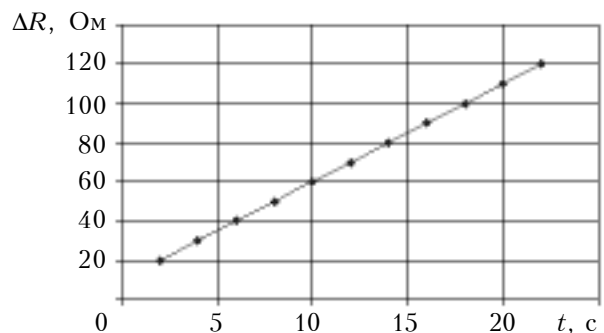


Рис. 2. Увеличение сопротивления ΔR в зависимости от времени дотравливания t при изготовлении сенсоров с $R_{\text{ном}} = 500$ Ом

Защитный слой лака, предварительно разведенного растворителем до нужной рабочей вязкости, наносят на готовые сенсоры также методом погружения. Сушат лаковый слой в термостате.

Все измерения сопротивления, в том числе и на финишном контроле, проводят с учетом поправок на реальную рабочую температуру в помещении.

Надежный тепловой контакт терморезисторов, изготовленных в соответствии с разработанным техпроцессом, обеспечивается за счет низкого теплового сопротивления тонкой (10 мкм) полиимидной пленки, имеющей в сравнении с другими полимерами достаточно высокую теплопроводность [5] и располагающейся между измеряемым объектом и чувствительным элементом. Низкая теплоемкость терморезисторов на полиимидной основе обусловлена их исключительно малой массой в сравнении с другими сенсорами (терморезистор с номинальным сопротивлением 500 Ом весит около 25 мг).

Номинальные статические характеристики (НСХ) никелевых терморезисторов (зависимость сопротивления 100-омного термометра сопротивления от температуры в интервале $-60...+180^{\circ}\text{C}$), а также формулы для расчета НСХ термометра сопротивления (ТС) и ЧЭ приведены в [1]. Температурная зависимость сопротивления терморезисторов, полученная расчетным путем, близка к линейной (рис. 3).

Терморезисторы с ЧЭ из никелевой фольги имеют температурный коэффициент сопротивления $\alpha=0,00617^{\circ}\text{C}^{-1}$ [1], определяемый по формуле

$$\alpha=(R_{100}-R_0)/(R_0 \cdot 100^{\circ}\text{C})$$

где R_{100} и R_0 — значения сопротивления по НСХ при 100 и 0°C соответственно.

Для сенсоров с $R_{\text{ном}} = 500$ Ом чувствительность составляет чуть более 3 Ом/ $^{\circ}\text{C}$, их габаритные размеры, включая змейку и две контактные площадки для припаивания соединительных проводников, составляют $31,5 \times 11,5$ мм

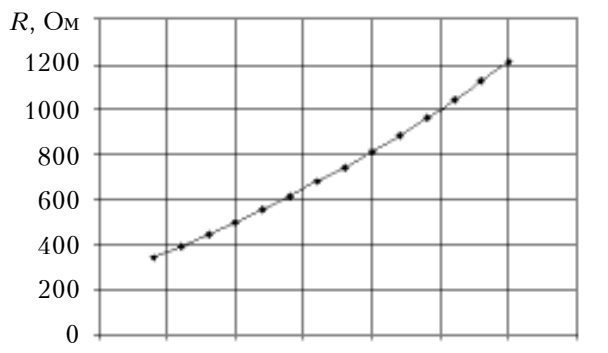


Рис. 3. Зависимость сопротивления сенсоров с $R_{\text{ном}} = 500$ Ом от температуры T

при ширине вытравленного проводника порядка 35–45 мкм. Чувствительность сенсоров с сопротивлением 200 и 100 Ом чуть больше 1,2 и 0,6 Ом/ $^{\circ}\text{C}$ соответственно. Длина таких сенсоров равна 13,2 мм, а ширина — соответственно, 7 и 5 мм.

Разработанная технология позволила освоить промышленное изготовление гибких терморезисторов на полиимидной основе и обеспечить их малоинерционность и высокую чувствительность при эксплуатации за счет исключительно малой массы (от 10 до 25 мг) и возможности хорошего теплового контакта с объектами сложной формы (к трубкам). Так, серийно выпускается ряд таких терморезисторов с номинальными сопротивлениями 100, 200 и 500 Ом. Разброс значений сопротивления выпускаемых терморезисторов не более $\pm 5\%$. Их преимуществами перед другими сенсорами являются надежность, меньшая стоимость и простота изготовления. На протяжении 5 лет они используются фирмой «Милкотроник-ЛТД» в ультразвуковых анализаторах жирности молока при контроле и стабилизации температуры молока, поступающего в цилиндрические трубки. Опыт использования таких сенсоров в аппаратуре, выпускаемой данной фирмой, показывает, что они удобны при монтаже и достаточно надежны в эксплуатации.

Исключительно малая масса терморезисторов на полиимидной основе делает их перспективными при проведении космических исследований, а также в случаях когда необходимо свести к минимуму влияние самих сенсоров на температуру измеряемой среды или на поглощение ими каких-либо излучений или частиц, например при ядерных исследованиях.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

- ГОСТ Р 8.625-2006. Государственная система обеспечения единства измерений. Термометры сопротивления из платины, меди и никеля. Общие технические требования и методы испытаний. [GOST R 8.625-2006. Gosudarstvennaya sistema obespecheniya edinstva izmerenii. Termometry soprotivleniya iz platiny, medi i nikelya. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya i metody ispytaniy]
- Войтович І. Д., Корсунський В. М. Інтелектуальні сенсори. — Київ: Інститут кібернетики ім. В.М.Глушкова, 2007. [Voitovich I. D., Korsun'skii V. M. Intel'ktual'ni sensori. Kiyiv: Institut kibernetiki im. V.M.Glushkova. 2007]
- Патент 2240921 России. Способ получения полиимидного материала / В. Н. Воробьев, А. В. Воробьев. — 27.11.2004. [Patent 2240921 Rossii. / V. N. Vorob'ev, A. V. Vorob'ev. 27.11. 2004]
- Жора В. Д., Шеревеня А. Г., Донцова В. В. и др. Нанесение фоторезистивного слоя в процессе рулонного изготовления гибких носителей для сборки ИС // Электронная техника. Сер. 7. ТОПО. — 1988. — Вып. 3. — С. 5–8. [Zhora V. D., Sherevenya A. G., Dontsova V. V. i dr. // Elektronnaya tekhnika. Ser. 7. TOPO. 1988. Iss. 3. P. 5]
- Плис Н.И., Вербицкий В.Г., Жора В.Д. и др. Технология сборки микросхем на гибком полиимидном носителе // Технология и конструирование в электронной аппаратуре

pe. — 2010. — №. 5–6. — С. 43–45. [Plis N.I., Verbitskii V.G., Zhora V.D. i dr. // Tekhnologiya i Konstruirovaniye v Elektronnoi Apparature. 2010. N. 5–6. P. 43]

*Дата поступления рукописи
в редакцию 19.06 2012 г.*

Dinev D. A., Zhora V. D., Grigoryeva N. N., Grunyanская V. P. **Manufacturing technology for flexible thermoresistors on polyimide base.**

Keywords: temperature measurement, thermoresistors, sensor elements, nickel foil, polyimide film.

The article proposes the manufacturing technology for flexible thermoresistors on polyimide film and analyzes their advantages in relation to other temperature sensors. Such heating elements provide good thermal contact with the controlled object of complex shape. In addition, they are quick-response, reliable and easy to manufacture.

Bulgaria, Stara Zagora, “Milcotronic-LTD”; Ukraine, Kiev, SE “RI of Microdevices”, STS “Institute for Single crystals” NASU.

Дінев Д. А., Жора В. Д., Григор'єва Н. М., Грун'янська В. П. **Технологія виготовлення гнучких терморезисторів на поліімідній основі.**

Ключові слова: вимірювання температури, терморезистори, чутливі елементи, нікелева фольга, поліімідна плівка.

Розроблено технологію виготовлення гнучких терморезисторів на поліімідній основі та розглянуто їх переваги в порівнянні з іншими сенсорами температури. Такі терморезистори забезпечують надійний тепловий контакт з контрольованим об'єктом складної форми. Крім того, вони малоінерційні, надійні, прості у виготовленні.

Болгарія, м. Стара Загора, «Мілкотронік-ЛТД»; Україна, м. Київ, ДП «НДІ мікроприладів», НТК «ІМК» НАНУ.

НОВЫЕ КНИГИ

НОВЫЕ КНИГИ

Митягин А. Ю., Фещенко В. С. Фотоприемники УФ-диапазона на природных алмазах (на английском языке).— Одесса: Политехпериодика, 2013.— 128 с.

В монографии представлены результаты исследований фотоприемников на основе природных алмазов, в частности конструкции, технологии изготовления и результаты тестирования экспериментальных моделей одно- и многоэлементных УФ-фотоприемников. Показана принципиальная возможность создания на основе алмаза высокочувствительных элементов матрицы. В книге также представлены разработки двухканальных алмазных фотоприемников, работающих в ультрафиолетовом и инфракрасном диапазонах.



НОВЫЕ КНИГИ

Ефименко А. А. Проектирование межблочных электрических соединений электронных средств в базовых несущих конструкциях.— Одесса: Политехпериодика, 2013.— 280 с.

В монографии рассматриваются вопросы проектирования межблочных электрических соединений в электронной аппаратуре, создаваемой с использованием базовых несущих конструкций (БНК). Приводится классификация и характеристика современных типов электрических соединений и БНК, формализованы задачи их проектирования. Большое внимание уделено методам и средствам проектирования межблочных электрических соединений и БНК, а также вопросам создания моделей и алгоритмов проектирования. Отдельно рассмотрены методы проектирования электромонтажа с использованием непаяных контактных соединений.

Монография предназначена для разработчиков электронных средств. Вместе с тем, она может быть полезна студентам и аспирантам соответствующих специальностей.

