

К. ф.-м. н. В. В. БРАЙЛОВСКИЙ, О. Е. ИЛАРИОНОВ

Украина, Черновицкий гос. университет им. Ю. Федьковича
E-mail: rt-dpt@phys.chdu.cv.ua

Дата поступления в редакцию
07.04 2000 г. — 12.02 2001 г.

Оппоненты д. т. н. Л. Ф. ПОЛИТАНСКИЙ,
С. И. КУЛАГИНА

МАЛОИНЕРЦИОННЫЙ ЛИНЕЙНЫЙ ТЕРМОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ СОПРОТИВЛЕНИЯ

Предложена технология миниатюризации медных термопреобразователей сопротивления с напылением адгезионного и защитного слоев в едином технологическом цикле.

По данным отечественных и иностранных специалистов, технические измерения температуры составляют 40–50% общего числа различных измерений. Поэтому качество температурного контроля часто обуславливает успех производства.

В настоящее время для промышленных измерений температуры используют термопреобразователи сопротивления (ТПС) контактного типа с активным элементом из медной или платиновой проволоки. Преобразователям такого типа присущи следующие недостатки: большая масса, а отсюда и значительная продолжительность процесса измерения; использование дефицитных и дорогостоящих материалов; применение ручных операций при изготовлении; большие размеры и, соответственно, ограниченная возможность использования для измерения температуры внутри небольших объектов [1].

Использование в качестве ТПС менее инерционного $p-n$ -перехода ограничено в силу сложности воспроизведения величины сопротивления R_0 и, как следствие, необходимость настройки устройства при замене ТПС [2].

В настоящей работе предлагается изготовление малоинерционного медного термопреобразователя сопротивления на базе тонкопленочной технологии.

С целью уменьшения инерционности ТПС [3] было решено отказаться от корпусирования термочувствительного элемента. Термочувствительный слой формировался на жесткой подложке. В качестве подложки использовались ситалловые пластины марки СТ-50-1-2-0,6 ТХ0735062ТУ. Для очистки от механических загрязнений подложки предварительно обрабатывались в хромовой смеси с промывкой в деионизированной воде с последующей гидромеханической обработкой и повторной промывкой в проточной деионизированной воде. Затем подложки сушились, обрабатывались в 98%-ной азотной кислоте и снова промывались в проточной деионизированной воде. Качество очистки контролировалось по смачиваемости подложек. В случае плохой смачиваемости подложки очищались повторно.

Непосредственное нанесение термочувствительного слоя меди на ситалловую подложку не обеспечивало надлежащего уровня адгезии (что согласуется с результатами авторов [4]). При термоциклировании сформированных впоследствии термочувствительных структур в отдельных местах наблюдалось шелушение и даже разрывы пленок.

Более высокую адгезию термочувствительного слоя меди к ситаллу нам удалось обеспечить путем создания промежуточного адгезионного слоя Ti–W. Нанесение пленок Ti–W и Cu производилось методом магнетронного распыления на установке 01НИ–006–007 («Оратория-5»). Адгезионный слой Ti–W и термочувствительный слой наносили при напряжении 400 В и токах 9 и 10 А, соответственно, при этом время напыления адгезионного слоя составило 40 с, термочувствительного — 80–100 с. Использование данной установки позволяло без разгерметизации производить ионную очистку подложек тлеющим разрядом в атмосфере аргона непосредственно перед напылением. Время очистки составляло 2–5 с при напряжении 100 В.

В первых экспериментальных образцах в качестве защитного слоя использовался тонкий слой двуокиси кремния. Однако нанесение защитного слоя двуокиси кремния непосредственно на поверхность термочувствительного слоя не обеспечивало надлежащей временной стабильности характеристик ТПС. Оказалось, что нанесение дополнительного защитного слоя Ti–W между термочувствительным и изолирующим слоем двуокиси кремния существенно увеличивало стабильность R_0 . Толщина адгезионного и защитного слоев Ti–W выбиралась исходя из соображений обеспечения надлежащей адгезии и предотвращения окисления, с одной стороны, а с другой — из соображений обеспечения наименьшего шунтирования терморезистивного слоя. Экспериментальным путем было установлено, что толщина защитного слоя составляет 400–600 Å, а адгезионного 600–800 Å при толщине терморезистивного слоя 1,2–1,5 мкм.

С целью снижения распределенной индуктивности в качестве базовой топологии избрана плоская бифилярная структура (рис. 1). Для формирования рисунка использовалась фотолитография на промышленной установке Лада-125. Фоторезист ФП-383 наносили на подложки методом центрифугирования в следующем режиме: доза нанесения фоторезиста 0,3–1,0 с; время растекания фоторезиста

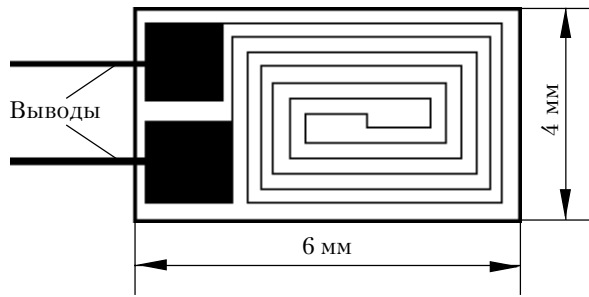


Рис. 1

1,0–2,0 с; скорость вращения 2500–3000 об/мин; время сушки 2,0–4,0 с. Операция экспонирования осуществлялась на установке ЭМ-576А.

После проявления и задубливания предварительно нанесенного фоторезиста травились слои трехслойной структуры, не защищенные маской фоторезиста. Сплав Ti–W травился в смеси $H_2O_2+H_2O$ при температуре кипения в течение 20–60 с, Cu – в травителе $CrO_3+(NH_4)_2SO_4+H_2O$ при температуре 45–50°C в течение 1–3 мин. После формирования топологии термодатчика удалялась фоторезистивная маска.

Диэлектрическая пленка двуокиси кремния наращивалась путем плазмохимического окисления кремнийорганического соединения гексаметилдиамоксана. Вскрытие окон для контактных площадок в защитной пленке из двуокиси кремния производилось путем второй фотолитографии. Незащищенные фоторезистом участки двуокиси кремния удалялись методом плазмохимического травления в атмосфере CF_4 и O_2 на установке ПХО 100Т-001. Открытую в окнах поверхность Ti–W стравливали до рабочего слоя меди в смеси $H_2O_2+H_2O$.

В первых экспериментальных образцах выводы припаивались непосредственно к контактным площадкам предварительно пролуженного терморезистивного слоя. В процессе пролуживания и подпайки выводов наблюдалось подтекание припоя под защитный слой двуокиси кремния, что приводило к существенному изменению величины R_0 терморезистора и нарушению целостности защитного слоя SiO_2 .

Надлежащей стабильности контактных площадок и сохранения целостности защитного слоя удалось достичь формированием дополнительного контактного слоя меди толщиной 2–2,5 мкм (рис. 2). Пос-

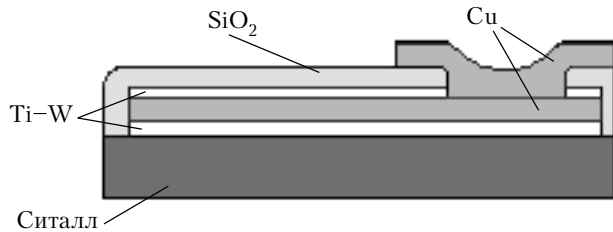


Рис. 2

ле нанесения слоя меди на контактные площадки производилось их облуживание припоем ПОСМ-05. Скрайбирование пластин с последующим разделением на элементы производилось на полуавтомате «Алмаз-М». После подпайки токопроводящих проводников вся поверхность ТПС с частью проводников покрывалась несколькими слоями термоустойчивой эмали ЭП-91.

Топология ТПС позволяет эффективно использовать его не только при постоянном, но и при переменном (до 250–300 кГц) токе. Последнее обстоятельство позволяет эффективно устранить влияние паразитных термо-эдс.

Предварительно проведенные исследования свидетельствуют о достаточно высокой воспроизводимости температурных характеристик тонкопленочного ТПС по сравнению с объемным образцом. Наблюдалось лишь уменьшение величины температурного коэффициента сопротивления до $3,22 \cdot 10^{-3} 1/^\circ C$. Величина сопротивления ТПС при 0°C существенно зависела от времени напыления термочувствительного слоя и при соблюдении вышеприведенных режимов составляла $R_0=166,8 \pm 1,83$ Ом. Температурная зависимость сопротивления термодатчика приведена на рис. 3.

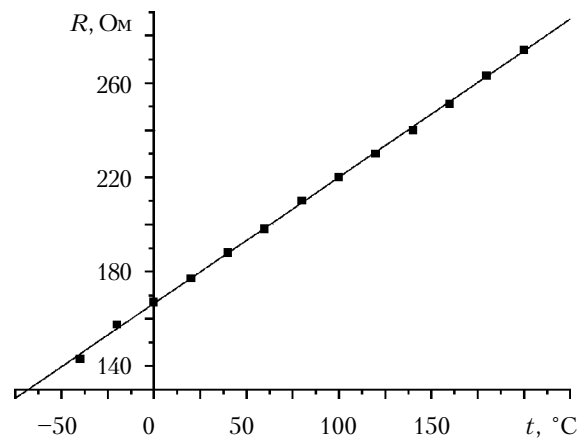


Рис. 3. Температурная зависимость термодатчика

Искусственное старение, а именно, отжиг в течение 30 мин при температуре 200°C, обеспечивает достаточную стабильность: в процессе двухлетней эксплуатации величина сопротивления R_0 изменилась не более чем на 0,01 Ом. В сравнении с объемным образцом [1, с. 86] постоянная времени изготовленного термопреобразователя сопротивления намного меньше и составляет 1,4 с.

Таким образом, предложенная технология позволяет получить качественно новые термопреобразователи сопротивления с удовлетворительными стоимостными и эксплуатационными характеристиками.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Датчики: Справочник / З. Ю. Готра, Л. Я. Ильницкий, Е. С. Полищук и др. – Львов: «Каменяр», 1995.
2. Фогельсон Б. И. Транзисторные термодатчики. – М.: Сов. радио, 1972.
3. Сусол П. И., Набитович Й. В., Лах В. И., Борис Я. В. Физико-химические проблемы изготовления тонкопленочных термопреобразователей сопротивления в микросхемном исполнении // Измерительная техника. – 1990. – № 1. – С. 39–40.
4. Белевський В. П., Боринець І. Д., Прищепа М. М. Дослідження електропровідності та корозійної стійкості мідних плівок, нанесених термоіонним напыленням // Науковий вісник КПІ. Радіотехніка. – 1998. – № 32. – С. 117–119.