

УДК 681.586.772

И. В. Ползунов, А. А. Родионов, В. А. Шокоров

**СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ
И ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ
ДАТЧИКОВ ДАВЛЕНИЯ В СОСТАВЕ ИЗДЕЛИЙ
РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ
ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ РАДИАЦИОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

I. V. Polzunov, A. A. Rodionov, V. A. Shokorov

**WAYS TO IMPROVE THE RELIABILITY AND ACCURACY
OF THE MEASUREMENT OF SEMICONDUCTOR PRESSURE
SENSOR AS PART OF SPACE-AND-ROCKET ENGINEERING
UNDER RADIATION ARE DESCRIBED**

А н н о т а ц и я. Выявлены основные конструктивные материалы и узлы, входящие в состав датчика, которые наиболее уязвимы при воздействии радиации. Определены способы повышения надежности и точности измерения давления полупроводниковыми датчиками давления в составе изделий ракетно-космической техники при воздействии на них радиационного излучения.

A b s t r a c t. The basic structural materials and components that make up the sensor, which are most vulnerable to the impact of radiation. Identified ways to improve the reliability and accuracy of the measurement of semiconductor pressure sensor as part of space-and-rocket engineering under radiation are described.

К л ю ч е в ы е с л о в а: ракетно-космическая техника, датчик давления, точность измерения, радиационное излучение, полупроводниковый чувствительный элемент.

К e y w o r d s: space-and-rocket engineering, pressure sensor, accuracy, radiation, semiconductor sensing element.

Введение

Ракетно-космическая отрасль является одним из важнейших секторов мировой экономики с многомиллиардными оборотами, во многом определяющим развитие человечества. Важнейшее и актуальное на сегодняшний день направление в совершенствовании изделий РКТ – повышение их стойкости к радиационному излучению.

Одними из основных компонентов, входящих в состав изделий РКТ, являются датчики давления, к которым предъявляются высокие требования по точности измерения и надежности в связи с тем, что данный вид аппаратуры обеспечивает контроль состояния отдельных узлов и изделия в целом.

Для обеспечения надежности изделий РКТ требуется разработка унифицированных рядов интеллектуальных датчиков, обладающих высокой точностью измерения при воздействии

высоких уровней радиационных воздействий. Для этого необходимо проанализировать воздействие радиации на конкретные элементы и материалы, влияющие на точность измерения и надежность полупроводниковых датчиков давления, и выявить наиболее стойкие.

Анализ воздействия радиационного излучения на основные элементы и материалы датчика

В конструкции современных полупроводниковых датчиков давления применяют металлы и сплавы, диэлектрические материалы, клеи, компаунды, электрорадиоизделия (ЭРИ) и кремний. Конструктивная схема датчика приведена на рис. 1 и содержит защитную металлическую мембрану 1, кремниевый чувствительный элемент 2, керамический вкладыш 3, стеклометаллический гермовывод 4, контактную гермоколодку 5, корпус 6, провода 7, настроечные резисторы 8, печатную плату 9, компаунд 10, кожух 11 и кабель 12.

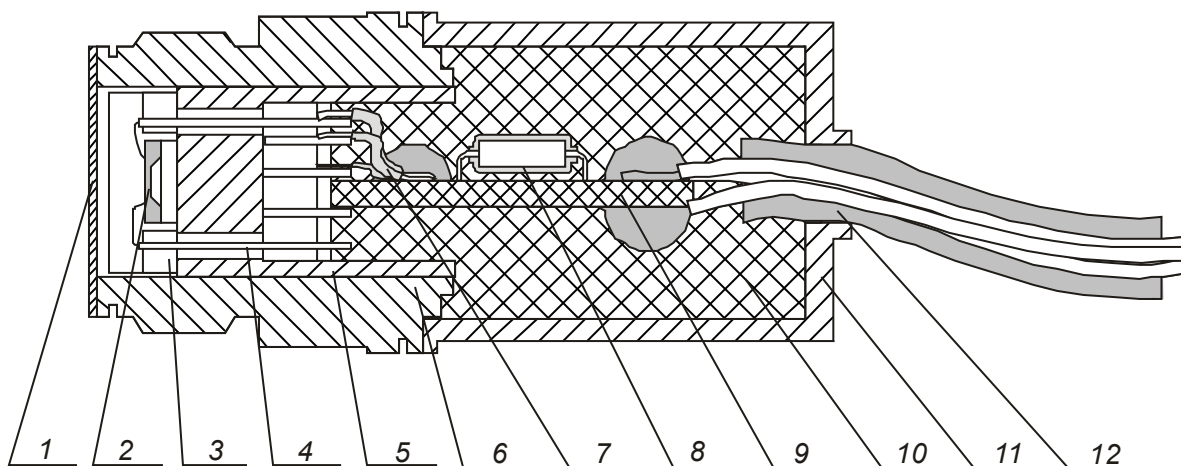


Рис. 1. Конструкция полупроводникового датчика давления

Основным конструкционным материалом полупроводниковых датчиков давления, используемым для изготовления корпусов, кожухов, штуцеров, контактных колодок, является нержавеющая сталь. Наибольшее применение получили такие марки, как 12х18н10т, 36нхтю, 44нхтю, а также железоникелевые сплавы (ковар) марки 29нк. При воздействии на металл радиационного излучения, в зависимости от воздействующей температуры, образуются точечные дефекты или активизируются диффузионные процессы, способствующие распаду пересыщенных твердых растворов. В аустенитных сталях и сплавах на основе Ni, Ti, Mo, Zr, Вe при воздействии высоких температур и радиации происходит увеличение объема металла – радиационное распухание [1], и как следствие возможна потеря герметичности датчика.

В связи с этим при проектировании конструкции датчика необходимо увеличить толщину и плотность деталей, составляющих оболочку датчика. Для избегания распухания металлических частей датчика необходимо использовать высокохромистые ферритные и перлитные стали с меньшей растворимостью водорода.

Другими элементами конструкции датчиков давления, применяемыми в качестве диэлектрических конструкционных материалов, являются керамика и стекло. При воздействии радиации в керамике появляются эффект радиационного газообразования и дефекты в решетке, которые устраняются путем повышения рабочей температуры. Радиационная стойкость стекол при облучении определяется их химическим составом. Наименьшей радиационной стойкостью обладают боросодержащие стекла, у которых происходит заметное снижение прочностных показателей [2].

При проектировании датчика в качестве диэлектрического конструкционного материала необходимо применять керамику из чистых оксидов циркония и титана Zr_2O_2 и TiO_2 . Из стекол следует применять ситаллы типа «Пирокерам» и некоторые другие, обладающие высокой радиационной стойкостью.

При разработке датчиков возможно использование клеев и компаундов. Данные виды материалов предназначены для увеличения качества и прочности электрических контактов, защиты от коррозионных сред.

Изменение различных свойств пропиточных и заливочных компаундов при воздействии излучений определяется, прежде всего, содержанием в них смол, отвердителей, пластификаторов, наполнителей и т.д., а также чистотой компонентов, технологией отверждения и условиями облучения. Радиационная стойкость клеев определяется в основном природой полимерной основы, а также зависит от вида и содержания других компонентов. Многокомпонентный состав клеев затрудняет оценку их радиационной стойкости по типу полимерной основы [2]. Использование в их составе материалов, проходящих доотверждение за счет радиации, увеличивает их радиационную стойкость.

Одними из наиболее уязвимых к воздействию радиации элементов конструкции датчика являются покупные ЭРИ, так как по статистике отказ комплектующего ЭРИ находится на первом месте в числе причин отказа целого изделия. Перечень покупных ЭРИ ограничивается резисторами, проводами и разъемами, что существенно расширяет области применения таких датчиков.

Воздействие радиационного излучения вызывает обратимые или необратимые изменения сопротивления, увеличение уровня шумов, ухудшение влагостойкости резисторов, а вследствие и ухудшение точности измерения датчиков. Наиболее устойчивы к воздействию радиационного излучения керамические и проволочные резисторы. В конструкции этих резисторов используются лишь радиационно стойкие материалы: металл, керамика, стекло [3].

Для изготовления радиационно стойких датчиков рекомендуется применять резисторы с $r_{ном} < 10$ кОм. Высокоомные резисторы защищают заливкой либо опрессовкой эпоксидной смолой. Увеличение толщины защитного покрытия в 10 раз позволяет снизить нестабильность резистора в 6–8 раз. При уменьшении размеров резистора его устойчивость к излучению повышается. Часто применяются такие типы резисторов, как С2-36 и Р1-16 (группа 4У по ГОСТ РВ 20.39.404), у которых относительно высокая верхняя граница температурного диапазона (до +155 °С).

Основным отказом при воздействии радиации и высоких температур проводников является снижение напряжения пробоя и сопротивления изоляционной оболочки. Учитывая невысокие значения рабочих напряжений (не более 5–10 В) и использование дополнительных конструктивных мер по укладке проводов, можно в качестве материалов использовать провода с полиимидной, фторопластовой, ПВХ-изоляцией марок МГТФ, МС, МГШВ и пр. Наиболее устойчивыми к жестким условиям являются радиационно стойкие провода марки МС26-15 (группа 4У по ГОСТ РВ 20.39.404, верхняя граница температурного диапазона до +200 °С).

В качестве электрических соединителей чаще других применяют разъемы типа СНЦ, РСГ, РРСЗ, МР1. Отказ электрического соединителя из-за размыкания, плохого контакта приводит к отказу и ухудшению точности измерения датчика. Наиболее устойчивыми к жестким условиям являются цилиндрические соединители марок СНЦ30.

Главным функциональным элементом в конструкции полупроводниковых датчиков давления, безусловно, является чувствительный элемент (ЧЭ), выполненный из кристалла монокристаллического кремния методами прецизионного травления, на поверхности которого сформирована электрическая схема преобразования деформаций мембраны в электрический сигнал.

Радиационное воздействие не оказывает существенного влияния на упругие и прочностные характеристики ЧЭ, однако при облучении электрической схемы возможно изменение значений сопротивлений, а следовательно, и увеличение погрешности. Для сохранения метрологических характеристик ЧЭ при воздействии радиационного излучения необходимо использовать дополнительную защиту с применением защитных экранов и оболочек из плотных металлических материалов с высоким коэффициентом торможения и поглощения радиационных потоков, а также применять в качестве приборного слоя широкозонные полупроводниковые материалы (4).

Вышеописанные способы, позволяющие увеличить надежность и точность измерения полупроводниковых датчиков давления при воздействии радиационного излучения, представлены на рис. 2.

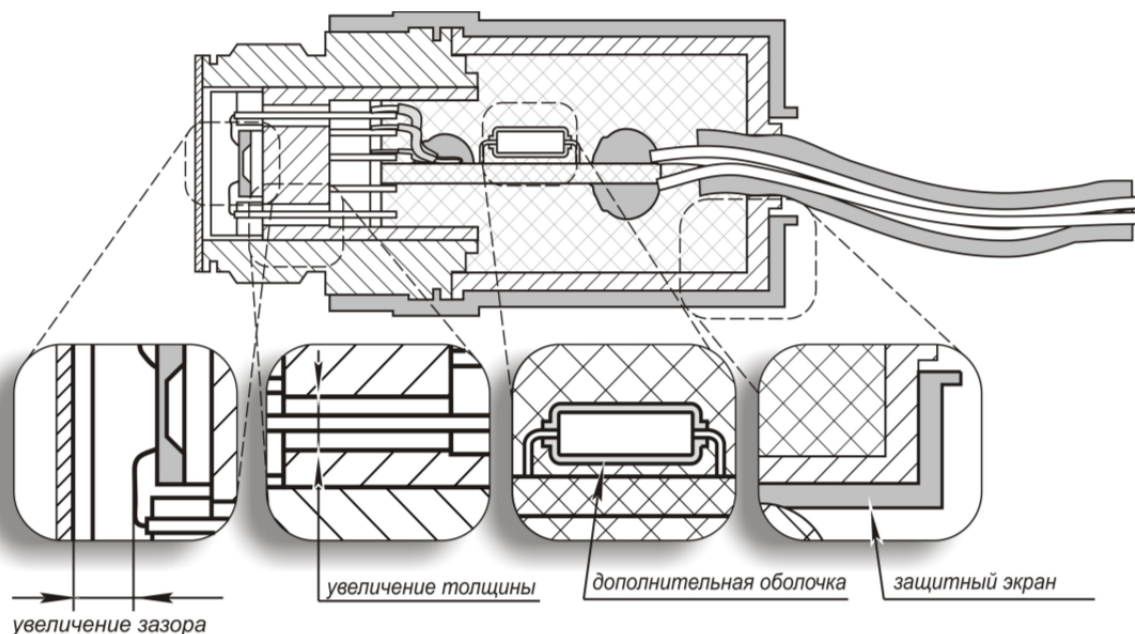


Рис. 2. Способы увеличения точности измерения и контроля датчиков при воздействии радиационного излучения

Заключение

Рассмотрение основных конструктивных материалов и узлов, наиболее уязвимых к воздействию радиации, входящих в состав полупроводникового датчика давления, способствовало выявлению следующих способов повышения надежности и точности измерения:

- повышение стойкости металлов и сплавов достигается использованием высокохромистых ферритных и перлитных сталей с меньшей растворимостью водорода с увеличенной толщиной и плотностью;
- стойкость диэлектрических материалов повышается за счет использования керамики из чистых оксидов циркония и титана Zr_2O_2 и TiO_2 и ситаллов типа «Пирокерам»;
- стойкость ЭРИ можно повысить путем опрессовки или заливки;
- повышение стойкости клеев и компаундов достигается путем использования в их составе материалов, проходящих доотверждение за счет радиации;
- повысить стойкость ЧЭ возможно за счет защиты его экраном из плотных металлических материалов, а также использования в качестве приборного слоя широкозонных полупроводниковых материалов.

При разработке датчиков необходимо обратить внимание на новые материалы с высоким коэффициентом торможения и поглощения радиационных потоков, которые позволили бы уменьшить радиационное влияние на датчик с небольшим изменением массы.

Список литературы

1. Зборщик, А. М. Новые материалы в металлургии / А. М. Зборщик. – Донецк, 2008. – 253 с.
2. Бородулин, В. Н. Электротехническое материаловедение / В. Н. Бородулин, В. К. Дамбис, А. А. Сутченков, А. П. Черкасов // электронный учебник МИЭ(ТУ). <http://ftemk.mpei.ac.ru/ctlw/LocalContent.aspx?id=etm1>

Ползунов Иван Владимирович
начальник сектора,
Научно-исследовательский институт
физических измерений
E-mail: ivan.polzunov@mail.ru

Polzunov Ivan Vladimirovich
head of sector,
Scientific-research Institute
of physical measurements

Родионов Александр Александрович

начальник лаборатории,
Научно-исследовательский институт
физических измерений
E-mail: rodionov_niifi@mail.ru

Rodionov Aleksandr Aleksandrovich

head of laboratory,
Scientific-research Institute
of physical measurements

Шокоров Вадим Александрович

инженер-конструктор,
Научно-исследовательский институт
физических измерений
E-mail: vad_pnz@mail.ru

Shokorov Vadim Aleksandrovich

design engineer,
Scientific-research Institute
of physical measurements

УДК 681.586.772

Ползунов, И. В.

Способы повышения надежности и точности измерения полупроводниковых датчиков давления в составе изделий ракетно-космической техники при воздействии радиационного излучения / И. В. Ползунов, А. А. Родионов, В. А. Шокоров // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2013. – № 4 (6). – С. 71–75.