

Илюхин Андрей Владимирович

Илюхин В. Andrey

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)
Moscow automobile and road state technical university (MADI)
Профессор кафедры АПП / Professor of APP chair
Доктор технических наук, профессор

Марсов Вадим Израилевич

Marsov V.I.

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)
Moscow automobile and road state technical university (MADI)
Профессор кафедры АПП / Professor of APP chair
Доктор технических наук, профессор

Колбасин Александр Маркович

Kolbasin M. Alexander

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)
Moscow automobile and road state technical university (MADI)
Доцент кафедры АПП / Associate professor of APP
Кандидат технических наук, доцент

Беляков Александр Борисович

Belyakov V. Alexander

Аспирант кафедры АПП / Graduate student APP/аспирант
Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)
Moscow automobile and road state technical university (MADI)
madi-app@bk.ru
E-Mail: alex123456789.a@yandex.ru

Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами – 05.13.06

Полупроводниковые датчики давления на кремниевой основе

Semiconductor pressure sensors based on silicon

Аннотация: В статье рассматривается использование полупроводниковых датчиков давления, на кремниевой основе, с использованием технологии «кремний на диэлектрике» (КНД-технология), выполненные в виде чипа датчика давления с основанием, на котором расположена измерительная мембрана для регистрации перепада давления в измеряемой среде.

The Abstract: The article discusses the use of semiconductor pressure sensors based on silicon using technology "Silicon on Insulator" (SOI technology), made in the form of a pressure sensor chip with a base on which the measuring diaphragm for recording differential pressure in the measurement environment.

Ключевые слова: Датчик давления, пьезорезистор, проставка, механические деформации.

Keywords: Pressure sensor, piezo, spacer, mechanical deformation.

В технике измерений широкое распространение нашли полупроводниковые датчики давления, на кремниевой основе, с использованием технологии «кремний на диэлектрике» (КНД-технология). Они выполняются в виде чипа датчика давления с основанием, на котором расположена измерительная мембрана. Измеряемое давление подается на внешнюю сторону измерительной мембраны, а на внутреннюю - базовое давление, например, давление окружающей среды, что позволяет регистрировать перепад давлений и, вызываемый этим, прогиб измерительной мембраны.

Для регистрации абсолютных величин давлений с одной стороны мембраны имеется герметичная вакуумная камера. Прогиб измерительной мембраны регистрируется расположенными на ней пьезорезисторами, преобразуются ими в электрический сигнал, который передается для обработки и оценки в систему индикации.

Полупроводниковые датчики давления помещаются в корпус, через который осуществляется подача соответствующих давлений, выдача данных по результатам измерений и монтаж измерительного устройства в месте измерений.

Датчик давления монтируется на находящемся в корпусе цоколе, таким образом, что обращенная от цоколя сторона измерительной мембраны воспринимает измеряемое давление. Базовое давление в случае необходимости подается на внутреннюю сторону измерительной мембраны через проходящий внутри цоколя канал.

Цоколь представляет собой цилиндрическую надставку, представляющую собой составную часть корпуса или отдельный, закрепленный в корпусе конструктивный элемент. Цоколь и датчик давления выполняются из различных материалов с сильно отличающимися друг от друга физическими свойствами, в частности, коэффициентами термического расширения. Из-за механического соединения между цоколем и полупроводниковым датчиком давления возникают механические напряжения, которые воздействуют на передаточную характеристику измерительной мембраны, ухудшая точность получаемых измерений и их воспроизводимость.

Для снижения возникающих напряжений между цоколем и датчиком давления, как правило, размещают проставку, выполняемую из того же материала, что и датчик. Однако и в этом случае возникают механические напряжения, обусловленные различными коэффициентами термического расширения цоколя и проставки.

Ниже приводится описание датчика, во многом свободного от указанных недостатков, благодаря чему становится возможной надежная защита чувствительной измерительной мембраны от механических деформаций и повышение его метрологических характеристик.

Конструкция датчика приведена на рис. 1.

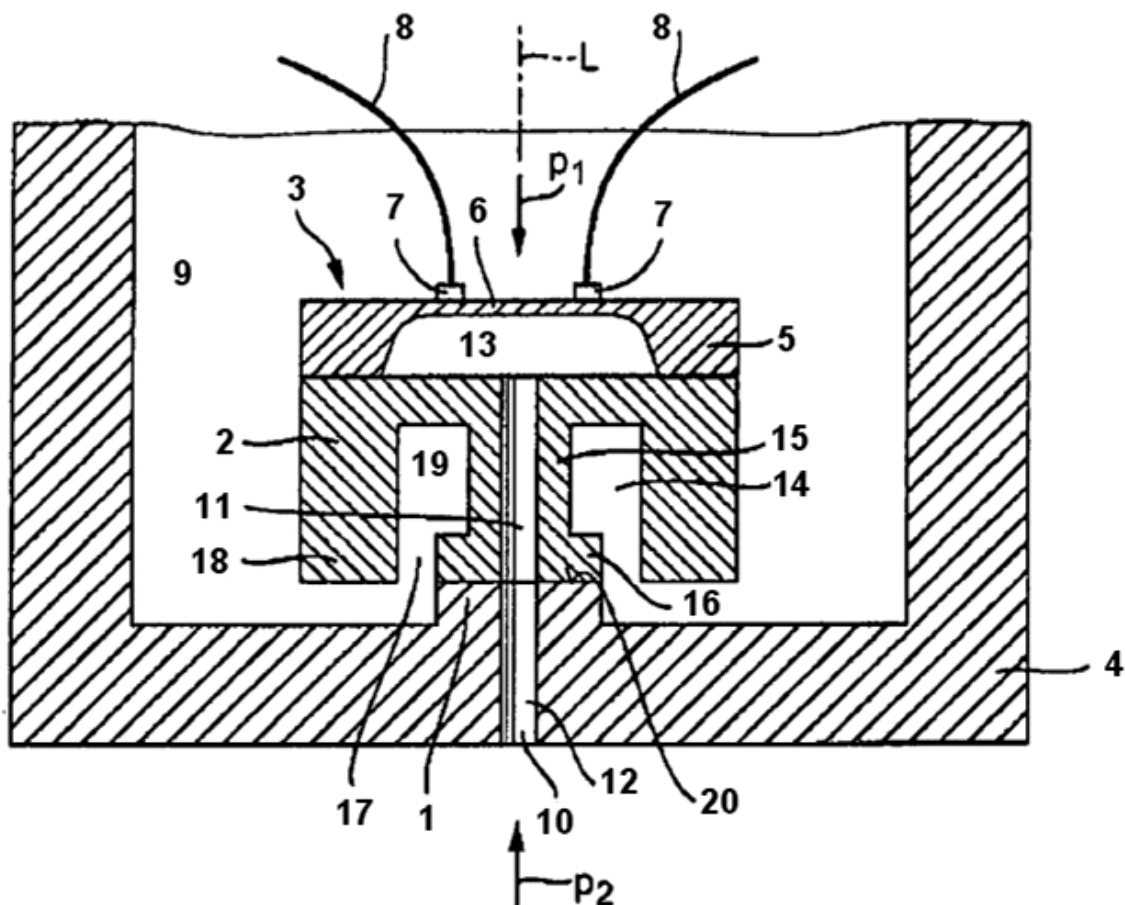


Рис. 1. Конструкция полупроводникового датчика давления

Датчик, предназначенный для регистрации перепадов и относительных давлений, включает в себя металлический или керамический цоколь 1, расположенную и соединенную с ним полупроводниковую проставку 2, а также расположенный на проставке и соединенный с ней полупроводниковый датчик давления 3. Проставка 2 выполнена из того же материала, что и полупроводниковый датчик давления (например, кремния). На цоколе монтируется датчик давления 3 в корпусе 4.

Датчик представляет собой чип датчика давления на кремниевой основе с основанием 5 и поддерживаемую им измерительную мембрану 6. Основание имеет дискообразную торцевую поверхность, которая располагается на имеющей такую же форму внешней кромке проставки 2, и прочно соединено с ней. Отклонение измерительной мембраны 6, вызванное перепадом давлений, регистрируется посредством расположенных на измерительной мембране пьезорезисторными элементами 7 датчика и преобразуется в электрический выходной сигнал, который через присоединенные к элементам 7 датчика соединительные провода 8 передается в микропроцессорную систему для дальнейшей обработки.

Внешнее давление P_1 подается во внутреннее пространство 9, а давление P_2 - к внутренней стороне измерительной мембраны по подводящему трубопроводу 10, который проходит через цоколь и проставку и входит в замкнутую под измерительной мембраной камеру измерения давления 13. Подводящий трубопровод 10 образован посредством канала 11 в проставке и примыкающего к нему канала 12 в цоколе, проходя параллельно ее продольной оси L. Канал 11 проходит насквозь через проставку и входит в замкнутую под измерительной мембраной камеру для измерения давления, а канал 12 проходит через цоколь параллельно его продольной длины L и входит в канал 11 в проставке.

Внутри проставки находится кольцевое круговое углублением 14, открытое в направлении к цоколю, выполненное таким образом, что внутри него образуется первый цилиндрический участок 15 проставки и граничащий с ним со стороны цоколя второй цилиндрический участок 16, который имеет больший наружный диаметр, чем первый. Углубление 14 состоит из концентрично окружающего канал 11 цилиндрического паза 17, с которым на его обращенной от цоколя 1 стороне граничит имеющее форму полого цилиндра углубление 19. Посредством углубления 14 наружный, свободно проходящий со стороны цоколя фрагмент участка 18, отделен от участков 15 и 16.

Участок 16 имеет обращенную к цоколю кольцевую дискообразную, торцевую поверхность 20, через которую проставка, посредством склеивания или спаивания, соединена с цоколем.

За счет такой конструкции датчика возможные механические деформации, обусловленные соединением цоколя и проставки, исключаются, практически не оказывая никакого воздействия на измерительные свойства мембраны и обеспечивая тем самым точность измерений с высокой долговременной стабильностью.

Информация об изменении давления поступает на электронное устройство, позволяющее преобразовать и представить электрический выходной сигнал полупроводникового датчика давления в удобной форме. Функциональная схема такого устройства, приведена на рис. 2.

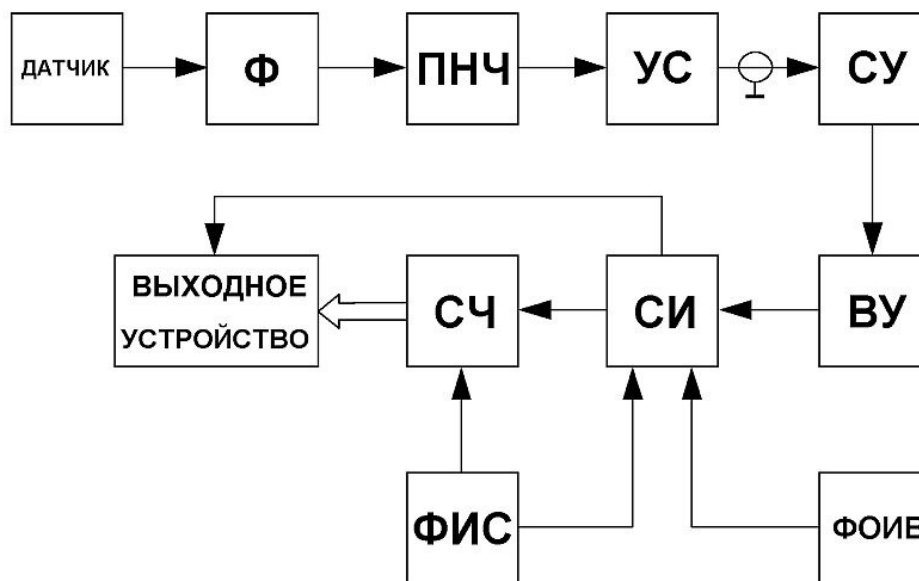


Рис. 2. Функциональная схема электронного устройства с датчиком давления

Электронное устройство состоит из датчика давления, формирователя его сигнала (Ф), преобразователя «напряжение-частота» (ПНЧ), устройства согласования (УС), согласующего устройства (СУ), входного устройства (ВУ), селектора импульсов (СИ), двоично-десятичного счетчика электрических импульсов (СЧ), формирователя образцовых интервалов времени (ФОИВ), формирователя импульсов сброса (ФИС) и выходного устройства.

В качестве датчиков давления используется полупроводниковый датчик резистивного типа, который включается по мостовой схеме с питающей и измерительной диагоналями. Поэтому используется формирователь сигнала разбаланса моста (Ф), для получения аналогового сигнала, пропорционального разбалансу.

Известно, что передача информации на значительные расстояния осуществляется в цифровой форме. Однако передача сигнала в цифровой форме в виде параллельного кода сопряжена со значительными материальными затратами, поскольку число связывающих экранирующих проводов должно быть равно количеству разрядов двоичного кода. По этой причине более целесообразно преобразовать аналоговый сигнал в последовательный код в виде изменяющейся частоты следования импульсов при помощи преобразователя «напряжение-частота» (ПНЧ).

Для передачи частотного сигнала на значительное расстояние в схеме предусмотрено устройство согласования с длинной линией передачи, в виде экранированного кабеля (УС). Как известно [1], подключение к выходу операционного усилителя экранированного кабеля приводит к тому, что ёмкость кабеля вместе с выходным сопротивлением электронной схемы образуют интегрирующую цепь, которая уменьшает запас устойчивости фазе и может явиться причиной самовозбуждения электронного устройства. По этой причине в УС использованы цепи дополнительной коррекции АЧХ, изменяющие характер частотной зависимости коэффициента усиления.

Сигнал прошедший через длинную линию связи поступает на согласующее устройство (СУ), которое служит для компенсации паразитной ёмкостной связи длинной линией. Как известно, прохождение импульсного сигнала через длинную линию с ёмкостным сопротивлением приводит к частичному искажению сигнала, сопровождаемое «растягиванием» фронтов и спадом импульсов. Для компенсации этих искажений сигнал с СУ подаётся на входное устройство (ВУ), представляющее собой триггер Шмитта, формирующий крутые фронт и уменьшающий спад импульсов.

С входного устройства электрические импульсы поступают на двоично-десятичный счетчик (СЧ) через селектор импульсов (СИ), который управляется формирователем образцовых интервалов времени (ФОИВ), пропуская на счетчик n импульсов в течение образцового интервала времени T_0 . Результат измерений поступает на выходное устройство, в качестве которого может использоваться либо цифровые индикаторы (при этом они будут показывать значение давления), либо регистр хранения (при это будет формироваться двоичный код пропорциональный давлению, который может быть использован для управления).

Количество импульсов записанных в счетчик будет

$$n = T_0 \cdot f_x,$$

где f_x – частота следования импульсов с преобразователя ПНЧ.

Если выбрать T_0 пропорциональным времени (например 0,01 с, 0,1 с., 1,0 с. и т.д.), то количество импульсов записанных в счетчик будет соответствовать частоте импульсов, поступающих с преобразователя, а следовательно и величине давления.

Формирователь импульсов сброса (ФИС) периодически обнуляет счетчик и останавливает работу селектора импульсов на время достаточное для считывания информации с цифровых индикаторов (при их использовании в качестве выходного устройства) или для перезаписи информации из регистра хранения. При этом селектор импульсов гасит цифровые индикаторы на время счета, чтобы зрение оператора не утомлялось из-за мелькания с высокой частотой цифр.

Предлагаемая схема электронного устройства с полупроводниковым датчиком давления, позволяет обеспечить высокую точность измерений давления с долговременной стабильностью.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеенко А.Г., Коломбет Е.А., Стародуб Г.И. Применение прецизионных аналоговых ИС. – М.: Радио и связь, 1981 г.

Рецензент: Доцент кафедры «Дорожно-строительных материалов» МАДИ, д.т.н., Васильев Юрий Эммануилович.