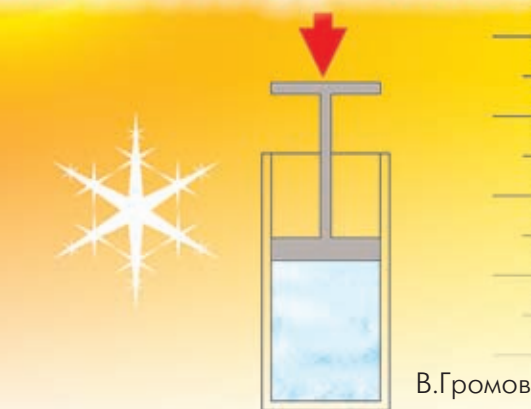


# МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ДАТЧИК ДЛЯ ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ СБОРА ДАННЫХ

Измерение различных физических величин требует от датчиков в электронных системах сбора данных, включая измерительные системы и системы диагностирования, таких характеристик, как высокая чувствительность и линейность, точность, стабильность, низкий уровень шума, быстрое действие и возможность синхронной многоканальной работы. Этим требованиям удовлетворяет предлагаемый кремниевый датчик на основе транзисторной структуры. Он позволяет измерять температуру, давление, освещенность, скорость потока газа и жидкости, перемещение и другие величины. Многофункциональность датчика обусловлена тем, что для всех измеряемых физических величин в нем используется один чувствительный параметр транзисторной структуры – "плавающий потенциал". Датчик сформирован в кремниевом кристалле размером 1,2×1,2×0,3 мм традиционными методами полупроводниковой технологии.

Обычно в электронных системах сбора данных измерительные сигналы поступают от множества удаленных и электрически изолированных датчиков. При этом сигналы от датчиков должны быть устойчивы к помехам, а сигнальные цепи помехозащищенными. Развязка потенциалов в электронных системах сбора данных между входом и выходом канала, а также между каналами системы обеспечивается конструкцией используемых в системе развязывающих усилителей [1].



При большом количестве датчиков применяется мультиплексорная адресация сбора данных, и мультиплексор устанавливается после развязывающих усилителей, которые обеспечивают его защиту от бросков напряжения со стороны входа системы.

Наиболее близки по структуре к системам сбора данных измерительные системы и системы диагностирования, для которых основным требованием является точность измерений. Используемые в этих системах датчики должны иметь следующие характеристики:

- высокую чувствительность, позволяющую обрабатывать сигналы с датчиков без предварительного усиления;
- линейность уравнения преобразования, обеспечивающую требуемый диапазон измеряемой величины и взаимозаменяемость датчиков конкретного функционального назначения;
- стабильность уравнения преобразования, обеспечивающую установленную чувствительность при различных условиях окружающей среды в течение заданного времени;
- технологичность, обеспечивающую высокую надежность;
- низкую стоимость.

Разработанный многофункциональный полупроводниковый датчик не только удовлетворяет основным требованиям при работе его в системах сбора данных, но и позволяет значительно упростить схемотехнические решения этих систем.

## ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАБОТЫ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА ДАТЧИКА

Предлагаемый датчик имеет преобразовательный элемент в виде транзисторной структуры. Как известно, основные области применения транзисторов достаточно полно характери-

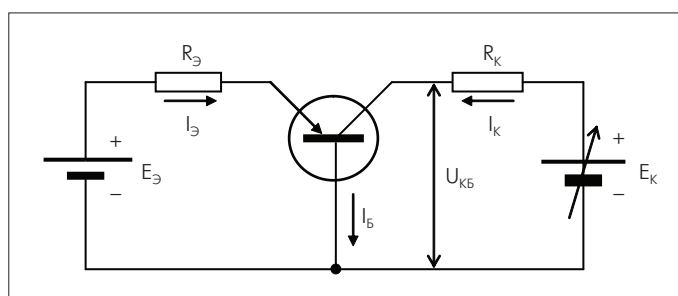


зуются их ВАХ. В семействе выходных ВАХ, например р-п-транзистора, включенного по схеме с общей базой (рис.1), можно выделить пять различных режимов работы (рис.2):

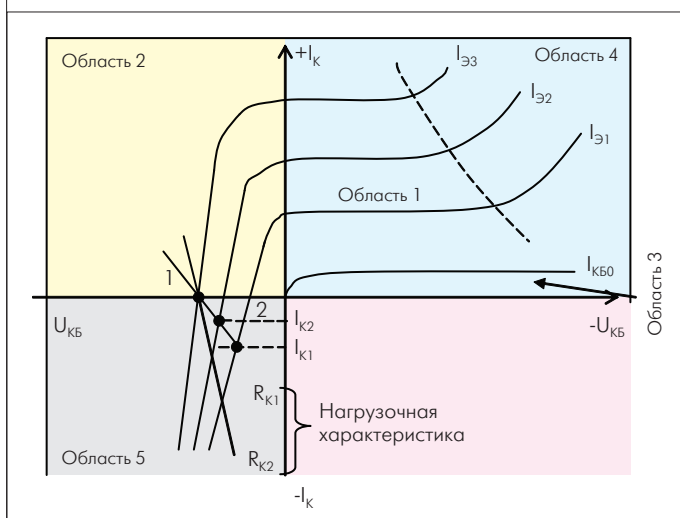
- активный режим, соответствующий значениям  $U_{КБ} < 0$ ;  $I_Э > I_К > 0$  (область 1);
- режим насыщения, соответствующий значениям  $U_{КБ} > 0$ ;  $I_Э > I_К > 0$  (область 2);
- режим отсечки, соответствующий значениям  $U_{КБ} < 0$ ;  $I_{КБ0} = I_К > 0$  (область 3);
- режим умножения, соответствующий значениям  $U_{КБ} < 0$ ;  $I_Э < I_К > 0$  (область 4);
- режим прямых токов, соответствующий значениям  $U_{КБ} > 0$ ;  $I_Б = I_Э + I_К$ ;  $I_Э > 0$ ;  $I_К < 0$  (область 5).

Первые четыре режима широко используются в усилительных, генераторных, импульсных устройствах. Что же касается режима прямых токов через р-п-переходы, то свойства именно данной области оказались весьма перспективными для разработки многофункционального полупроводникового датчика. В схеме включения транзистора как преобразовательного элемента многофункционального датчика (см. рис.1) в качестве чувствительного параметра используется так называемый плавающий потенциал на коллекторе ( $U_{КБ}$ ) при условии подключения эмиттера к генератору постоянного тока. Плавающим потенциал  $U_{КБ}$  назван в силу его зависимости от значения тока  $I_Э$ , протекающего через р-п-переход эмиттер-база в прямом направлении.

Следует отметить, что область 5 имеет место только при включении транзисторов по схеме с общей базой. Для того чтобы режим работы транзистора соответствовал области 5, необходимо обеспечить условия, при которых  $E_Э \gg E_К$ ,  $R_Э \gg R_К$ ,  $|I_Э| > |I_К|$ . Если считать ток  $I_Э = \text{const}$ , а при заданных условиях это именно так, то при  $I_К = 0$  значение  $U_{КБ}$  на ВАХ (см. рис.2) будет соответствовать точке 1, через которую проходит нагрузочная характеристика. Наклон нагрузочной характеристики определяется сопротивлением  $R_К$ . Схема на рис.1 позволяет для данной нагрузки при любом значении  $I_Э$  установить нулевой коллекторный ток путем изменения  $E_К$ , а при изменении  $U_{КБ}$  от внешнего воздействия на преобразовательный элемент регулировать относительные приращения тока  $I_К$  путем изменения  $R_К$ . Поэтому на практике для регистрации изменений плавающего потенциала  $U_{КБ}$



**Рис.1. Схема включения транзистора (р-п-р-типа) с общей базой в режиме прямых токов**



**Рис.2. Выходные ВАХ транзистора (р-п-р-типа), включенного по схеме с общей базой**

в данной схеме преобразовательного элемента датчика удобно использовать метод, основанный на измерении приращений тока  $I_К$ .

Для обоснования использования схемы, показанной на рис.1, в качестве элемента многофункционального датчика рассмотрим механизм воздействия на  $U_{КБ}$  таких основных внешних факторов, как температура, давление и освещенность.

Из общей теории р-п-перехода известно [2], что контактная разность потенциалов на кремниевом р-п-переходе зависит от температуры. Поскольку ее трудно определить с помощью электрических измерений, то для регистрации температурных изменений обычно используют легко измеряемый параметр – прямое падение напряжения на р-п-переходе ( $U_{р-п}$ ). Значение температурного коэффициента напряжения (ТКН) на переходе зависит, главным образом, от тока через переход ( $I_{р-п}$ ) и определяется формулой

$$TKH = \frac{dU_{р-п}}{dT} = -F + G \cdot \ln I_{р-п}, \quad (1)$$

где  $F$  – постоянная, равная для маломощных транзисторов 2,3 мВ/°С;  $G$  – коэффициент, теоретически равный для диффузионного тока 0,198.

Опыт показывает [3], что для реальных диодов с ростом тока ТКН уменьшается сильнее, чем это следует из формулы (1). Более того, при некотором достаточно большом токе ТКН становится равным нулю и далее меняет знак, т.е. становится положительным. Такие отклонения от формулы объясняются увеличением сопротивления базы с ростом температуры. Это приводит не только к снижению чувствительности напряжения  $U_{р-п}$  к изменению температуры, но и к сужению диапазона измеряемых температур. На практике применение кремниевого диода для измерения температуры позволяет обеспечить линейный характер преобразования  $U_{р-п} = f(T^{\circ}C)$  не хуже  $\pm 1\%$  при  $TKH = 1,5$  мВ/°С в диапазоне от -20 до 50°С.

Для расширения диапазона измеряемых температур автор предлагает метод снижения влияния сопротивления базы за счет электрической модуляции базового слоя преобразовательного элемента датчика. Суть метода заключается в пропускании через переход эмиттер-база постоянного прямого тока  $I_3$ , значение которого устанавливается достаточным для обеспечения в базе высокого уровня инжекции. При этом увеличивается концентрация носителей вблизи коллекторного перехода и, соответственно, повышается удельная проводимость базы в этой области, которая становится электрически модулированной. На коллекторе возникает плавающий потенциал  $U_{КБ}$ , определяемый значением тока  $I_3$ . Если к коллекторному выводу подключить источник питания с напряжением  $E_k$ , смещающий переход коллектор-база в прямом направлении, и нагрузочный резистор  $R_k$ , то в цепи коллектор-база потечет ток, равный:

$$I_k = \frac{\Delta U_{КБ}}{R_k} = \frac{ТКН \cdot \Delta T}{R_k}, \quad (2)$$

где  $\Delta U_{КБ}$  – приращение потенциала на коллекторе при изменении температуры окружающей среды на  $\Delta T$ .

Как следует из условий работы транзисторной структуры (см. рис. 1), ток  $I_k$  намного меньше тока  $I_3$ , поэтому напряжение на коллекторе  $U_{КБ}$  можно считать потенциалом, на ТКН которого температурные изменения сопротивления базы почти не влияют благодаря электрической модуляции базовой области, а также малым изменениям тока  $I_k$  (от 0 до десятков микроампер). Следовательно, напряжение  $U_{КБ}$  имеет ТКН, который определяется формулой (1), и наиболее точно из всех известных в технике измерения температуры термочувствительных параметров полупроводниковой структуры с р-п-переходами отображает температурные изменения контактной разности потенциалов на р-п-переходе.

Действительно, далее рассмотренные экспериментальные данные показывают, что использование плавающего потенциала  $U_{КБ}$  в качестве термочувствительного параметра позволяет обеспечить линейность характеристики преобразования в диапазоне измеряемых температур от  $-50$  до  $150^\circ\text{C}$  не хуже  $\pm 1\%$  и значение ТКН не менее  $2 \text{ мВ}/^\circ\text{C}$ . Заметим, что включение транзисторной структуры в инверсном режиме не изменяет ее характеристик термопреобразователя, поскольку р-п-переходы остаются смещенными в прямом направлении, а плавающий потенциал при этом создается на эмиттере.

Влияние давления на  $U_{КБ}$  аналогично действию температуры. Данные теории и экспериментов указывают на то, что прямое падение напряжения на р-п-переходе изменяется линейно от механического давления с коэффициентами  $-5,0 \cdot 10^{-11} \text{ В/Па}$  и  $-1,5 \cdot 10^{-11} \text{ В/Па}$ , соответственно для германия и кремния, и определяется, в первую очередь, изменением размеров элементарной ячейки.

Механическое давление на полупроводниковый кристалл можно обеспечить различными способами. Например, с по-

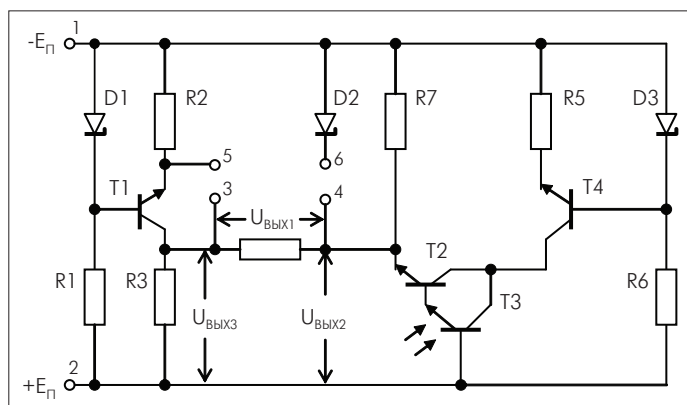
мощью жидкости (масляного пресса). В этом случае на кристалл будет воздействовать гидростатическое давление, значение которого в любой точке поверхности кристалла одинаково. Практика показывает, что прямое падение напряжения на р-п-переходе кремниевого транзистора изменяется от воздействия гидростатического давления линейно с коэффициентом  $-1,5 \cdot 10^{-5} \text{ мВ/кПа}$ . Механическое давление на полупроводниковый кристалл можно создать с помощью иглы (стальной, сапфировой, алмазной и т.д.). Результаты оценки влияния локального давления на изменение прямого падения напряжения на р-п-переходе кремниевого планарного транзистора показывают коэффициент, равный  $-5,0 \cdot 10^{-5} \text{ мВ/кПа}$ , что несколько больше, чем при воздействии гидростатического давления.

Чувствительность прямого падения напряжения на р-п-переходе к механическому давлению можно значительно повысить, создав транзисторную структуру на поверхности тонкой полупроводниковой пленки. В этом случае чувствительность повышается благодаря росту деформации полупроводниковой пленки при воздействии на нее механического давления. При формировании транзисторной структуры на поверхности кремниевой пластины толщиной  $0,3 \text{ мм}$  для создания элемента, чувствительного к давлению, со стороны коллектора селективным травлением удаляется материал пластины, оставляя под транзистором полость с тонким слоем толщиной  $0,02 \text{ мм}$  (мембраной). Полученная таким образом элементарная ячейка (мембрана) может использоваться в качестве элемента датчика давления с постоянным коэффициентом изменения  $U_{КБ}$  от давления, равным  $0,2 \text{ мВ/кПа}$ .

Очевидно, что элемент датчика давления может также использоваться в качестве элемента датчика температуры, если защитить его от воздействия давления каким-либо экраном.

Для преобразования световых сигналов в электрические необходимо, чтобы транзисторная структура, сформированная на мембране в кремниевом кристалле, представляла собой выпускаемый промышленностью фототранзистор, включенный по схеме рис. 1, но в инверсном режиме. Из уравнения ВАХ фототранзистора с прямосмещенными р-п-переходами [4] легко сделать вывод, что фототок прямо пропорционален освещенности при любых уровнях возбуждения. Этот вывод хорошо подтверждается на практике.

Таким образом, в качестве преобразовательного элемента многофункционального полупроводникового датчика выбран фототранзистор, сформированный на поверхности мембраны, которая изготовлена в кристалле кремния. Фототранзистор, включенный по схеме рис. 1, но в инверсном режиме, с прямосмещенными р-п-переходами имеет линейные характеристики преобразования температуры, давления и освещенности в электрические сигналы.



**Рис.3. Принципиальная схема датчика**

### ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СХЕМА ДАТЧИКА

Принципиальная электрическая схема многофункционального полупроводникового датчика приведена на рис.3. Если следовать обозначениям рис. 1, то на рис.3 источник питания  $E_k$  выполнен на транзисторе T1, при этом сопротивление резистора R3 соответствует внутреннему сопротивлению источника  $E_k$ , а резистора  $R_k$  – сопротивлению резистора R4. Генератор эмиттерного тока выполнен на транзисторе T4.

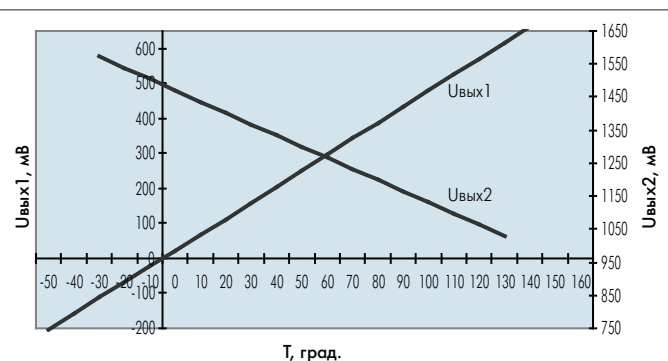
Чувствительный элемент датчика создан на составном транзисторе (T2, T3), в котором T3 – фототранзистор. Следует отметить, что подобный чувствительный элемент выпускается отечественной промышленностью в виде микросхемы типа 192ПП1. Поскольку чувствительный элемент датчика в схеме рис.3 включен с общей базой и работает в режиме прямых токов через переходы, то без ущерба для его функционирования можно поменять местами эмиттерный и коллекторный выводы. Поэтому включение составного транзистора (T2, T3) в качестве чувствительного элемента позволяет не только сохранить его функциональные характеристики, но и в несколько раз повысить чувствительность датчика, так как со стороны эмиттерного промежутка получено два последовательно соединенных p-n-перехода. И, наконец, в схему датчика введен нагревательный элемент D2, назначение которого будет показано ниже. Отметим важную особенность схемы датчика – она не содержит усилительных элементов, что не только упрощает схему, но и повышает стабильность ее работы и стойкость к внешним воздействующим факторам.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ПРАКТИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ СХЕМЫ ДАТЧИКА

**Преобразование температуры в электрический сигнал**  
Напряжение питания датчика подается на выводы 1 и 2. При изменении температуры окружающей среды в схеме датчика изменяются два напряжения –  $U_{\text{вых1}}$  и  $U_{\text{вых2}}$ . Выходное напряжение  $U_{\text{вых1}}$ , снимаемое с выводов 3 и 4, имеет дифференциальный характер и предназначено для измерения абсолютного значения температуры с применением АЦП типа КР572ПВ2А, КР572ПВ5А и др. При использовании датчика совместно с электронными устройствами, для которых важ-

но, чтобы обрабатываемый ими сигнал поступал к ним на вход относительно шины, являющейся общей как для датчика, так и для данных устройств, необходимо применять относительное выходное напряжение датчика  $U_{\text{вых2}}$  (выводы 4 и 2). Типовая зависимость выходных напряжений датчика  $U_{\text{вых1}}$  и  $U_{\text{вых2}}$  от температуры окружающей среды представлена на рис.4, а характеристики датчика имеют следующий вид:

- Диапазон измеряемых температур ..... -50...150°C
- Напряжение питания датчика ..... 8–27 В
- ТКН ( $U_{\text{вых1}}$ ) ..... 4,1 мВ/°C
- Нелинейность характеристики преобразования в диапазоне измеряемых температур ..... не более 1%
- Нелинейность  $U_{\text{вых1}}$  в диапазоне 0...100°C относительно значения  $U_{\text{вых1}}$  при 100°C..... не более 0,1%
- Начальное значение  $U_{\text{вых2}}$  при (23±2)°C ..... 1450 мВ
- ТКН ( $U_{\text{вых2}}$ )..... 3,1 мВ/°C
- Нелинейность  $U_{\text{вых2}}$  в диапазоне 0...100°C относительно значения  $U_{\text{вых2}}$  при +100°C ..... не более 0,25
- Чувствительность  $U_{\text{вых1}}$  к изменению напряжения питания ..... не более 0,1 мВ/В
- Чувствительность  $U_{\text{вых2}}$  к изменению напряжения питания ..... не более 1,0 мВ/В
- Ток потребления датчика при напряжении питания 12 В..... не более 1,0 мА
- Долговременная стабильность ..... 0,1%



**Рис.4. Зависимость выходных напряжений датчика от температуры**

Ближайший аналог предлагаемого прибора – датчик температуры типа LM3911 фирмы National Semiconductor, использующий в качестве термочувствительного параметра прямое напряжение на переходе эмиттер-база. Для сравнения приводим его параметры:

- Диапазон измеряемых температур ..... -25...85°C
- Напряжение питания ..... 7–36 В
- Нелинейность ..... не более 1,0%
- Чувствительность (при усилении встроенного усилителя 100)..... 10,0 мВ/°C
- Ток потребления ..... не более 10,0 мА
- Долговременная стабильность ..... 0,3%



### Формирование опорного напряжения

Для обеспечения высокостабильного начального уровня отсчета результатов измерений в схеме датчика используется источник опорного напряжения. Для этого к выводам 3 и 4 схемы на рис.3 подключается резистор R8, равный по сопротивлению резистору R4, и при заданном напряжении питания с помощью R8 устанавливается выходное напряжение опорного источника между выводами 2 и 3, равное 1520 мВ при температуре  $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ . При этом ТКН для  $U_{\text{вых1}}$  будет практически равен нулю (не более  $10 \text{ мкВ}/^\circ\text{C}$ ). Источник опорного напряжения, выполненный согласно схеме рис.3, имеет следующие характеристики:

Начальное значение напряжения опорного источника	1520 мВ
Рабочий диапазон температуры окружающей среды	-10...55 $^\circ\text{C}$
Изменение начального напряжения опорного источника при напряжении питания 12 В на каждые $10^\circ\text{C}$	не более $0,1 \text{ мВ}/10^\circ\text{C}$
Напряжение питания опорного источника	8–27 В
Изменение начального напряжения опорного источника от напряжения питания на каждые 10 В	не более $1,0 \text{ мВ}/10 \text{ В}$

Для повышения на порядок стабильности выходного напряжения опорного источника при изменении напряжения питания можно подключить к выводам 4 и 5 резистор в  $3,0 \text{ МОм}$ .

### Работа схемы датчика в режиме термоанемометра

Выше упоминался нагревательный элемент схемы датчика – диод D2, способный при пропускании через него электрического тока обеспечить косвенный подогрев датчика. Датчик температуры с косвенным подогревом (или термоанемометр) предназначен для измерения физических параметров потока газа и жидкости (скорости потока, расхода и т.д.). Для обеспечения косвенного подогрева необходимо соединить выводы 2 и 6 резистором  $R_H$ , сопротивление которого определяется током нагревательного элемента.

Термоанемометр, выполненный в соответствии с рис.3, имеет следующие характеристики:

Рабочий диапазон тока нагревателя (датчик выполнен в корпусе КТ-1-19)	0–40 мА
Чувствительность напряжения $U_{\text{вых1}}$ к изменению тока нагревателя	12,0 мВ/мА
Нелинейность $U_{\text{вых1}}$ в рабочем диапазоне тока нагревателя относительно значения $U_{\text{вых1}}$ при токе 40 мА	не более 1,0%

Остальные параметры термоанемометра соответствуют данным датчика температуры.

### Преобразование механического давления в электрический сигнал

Для подтверждения работоспособности схемы датчика в качестве преобразователя механического давления в электрический сигнал экспериментальные образцы датчика устанавливались в металлический корпус при нормальных условиях окружающей среды. Это обеспечивало постоянное давление в объеме корпуса датчика, равное атмосферному. Поэтому при измерении фиксировалось манометрическое, или избыточное, давление.

Чувствительный элемент датчика давления выполнен на кремниевом кристалле площадью  $3,0 \times 3,0 \text{ мм}$ . Мембрана занимает площадь  $1,2 \times 1,2 \text{ мм}$ . Полость со стороны коллектора чувствительного элемента получена вытравливанием кремниевого кристалла толщиной  $0,3 \text{ мм}$  на глубину  $0,28 \text{ мм}$ . Кстати, верхний предел измерения давления определяется толщиной мембраны, которая может регулировать его в датчике. Гистерезис и зона нечувствительности в датчике много меньше, чем в выпускаемых промышленностью, и по величине так малы, что само их измерение представляет трудную задачу. Нелинейность, рассчитанная с большой точностью, остается стабильной и не изменяется от экземпляра к экземпляру. Серьезная проблема для всех выпускаемых промышленностью полупроводниковых датчиков давления – устранение погрешности, связанной с изменением температуры окружающей среды. В рассматриваемом датчике эта проблема решена благодаря установлению в схеме режима источника опорного напряжения.

Типовая зависимость  $U_{\text{вых1}}$  датчика от изменения механического давления на мембрану представлена на рис.5. Чувствительность  $U_{\text{вых1}}$  имеет значение  $0,2 \text{ мВ/кПа}$ , что значительно выше значений, указанных ранее для гидростатического и локального давления на кристалл кремния.

Характеристики датчика давления, выполненного согласно схеме рис.3, приведены в таблице, где для сравнения даны также параметры ближайшего аналога – кремниевое интегрального датчика давления типа KP100A фирмы Valvo с пьезорезистивным чувствительным элементом и с внутренней температурной компенсацией.

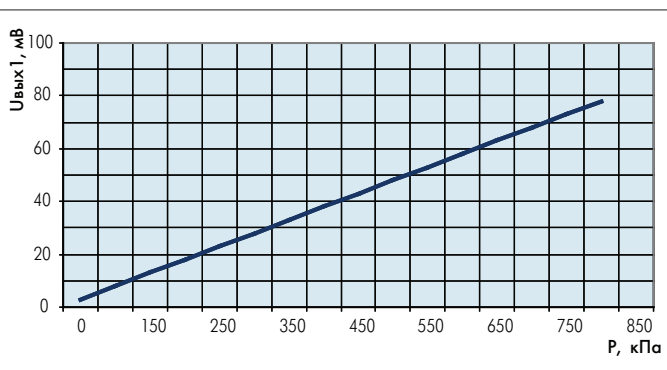


Рис.5. Зависимость  $U_{\text{вых1}}$  от давления на мембрану



## Сравнение характеристик многофункционального датчика и датчика КР100А

Характеристика	Многофункциональный датчик	Датчик КР100А
Диапазон измеряемых давлений, кПа	0–1000	0–400
Чувствительность при температуре 25°C, мВ/кПа	0,2	0,12
Диапазон рабочих температур, °C	-10...55	-40...55
Температурный коэффициент, приведенный к диапазону измеряемых давлений, %/°C	Не более 0,01	0,02
Нелинейность, %	Не более 0,1	Не более 0,7

### Преобразование освещенности в электрический сигнал

Поскольку в качестве чувствительного элемента многофункционального датчика выбран составной фототранзистор, аналог которого выпускается отечественной промышленностью в виде микросхемы типа 192ПП1, то его оптоэлектрические характеристики во многом соответствуют промышленному аналогу.

Устранение погрешности, связанной с изменением температуры окружающей среды, в датчике освещенности решается установлением режима источника опорного напряжения. Типовая зависимость выходного напряжения  $U_{\text{вых1}}$  датчика от освещенности при длине волны 0,55 мкм представлена на рис.6.

### ОСОБЕННОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДАТЧИКА

ИС датчика, соответствующая принципиальной схеме на рис.3, сформирована в кристалле кремния размером 1,2x1,2 мм и толщиной 0,3 мм. При разработке ИС были изготовлены шесть топологических чертежей для фотошаблонов.

Разработанный многофункциональный интегральный датчик относится к микроэлектромеханическим системам

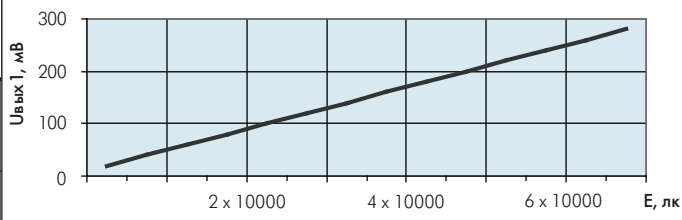


Рис.6. Зависимость  $U_{\text{вых1}}$  от освещенности

(МЭМС). При одной и той же электрической схеме функциональные особенности датчика определяются конструкцией, а для датчика давления наличием мембраны в полупроводниковом кристалле. Схематически отличительные особенности конструкции датчика, связанные с его функциональным назначением, показаны на рис.7.

Основные технические решения многофункционального полупроводникового датчика защищены патентами России [5, 6], а сам датчик по своим функциональным возможностям не имеет зарубежных аналогов.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Громов В.С., Кукса Ю.Н. Тепловая развязка потенциалов в системах сбора данных. – ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 2003, №6.
2. Степаненко И.П. Основы теории транзисторов и транзисторных схем. – М.: Энергия, 1967.
3. Громов В.С., Зайцев Ю.В. Полупроводниковые термоэлектрические преобразователи. – М.: Радио и связь, 1985.
4. Рывкин С.М. Фотоэлектрические явления в полупроводниках. – М.: Физматгиз, 1963.
5. Пат. 2048028, Россия. Способ измерения и регистрации физических величин и устройство для его осуществления/ Громов В.С., 1995 г.
6. Пат. 2048029, Россия. Способ параметрической компенсации дестабилизирующих факторов при измерении и регистрации физических величин и устройство для его осуществления/ Громов В.С., 1995 г.

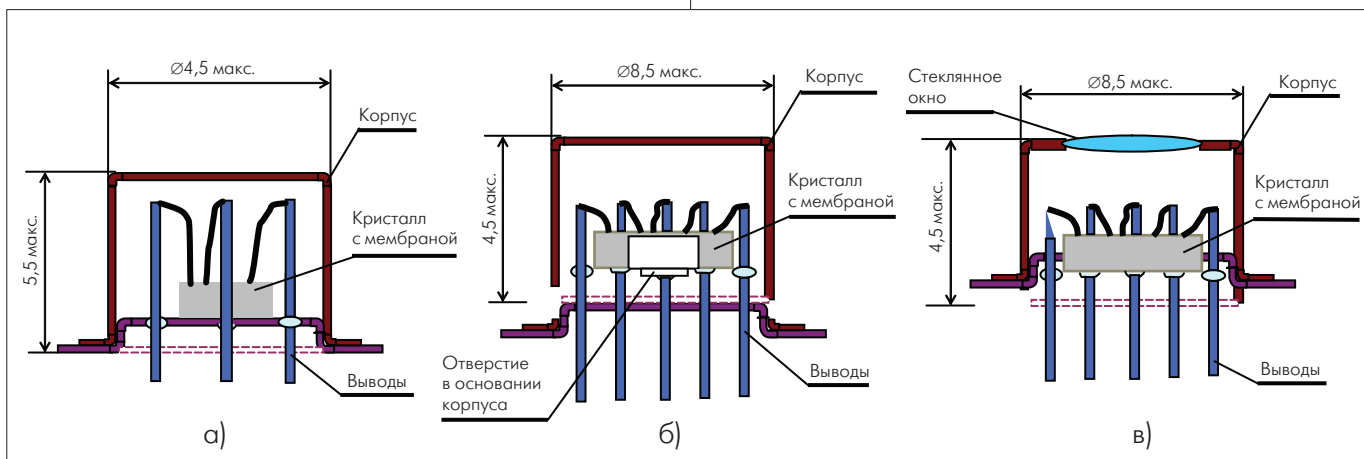


Рис.7. Особенности конструкции датчика в зависимости от его функционального назначения:  
а) датчик температуры; б) датчик давления; в) датчик освещенности