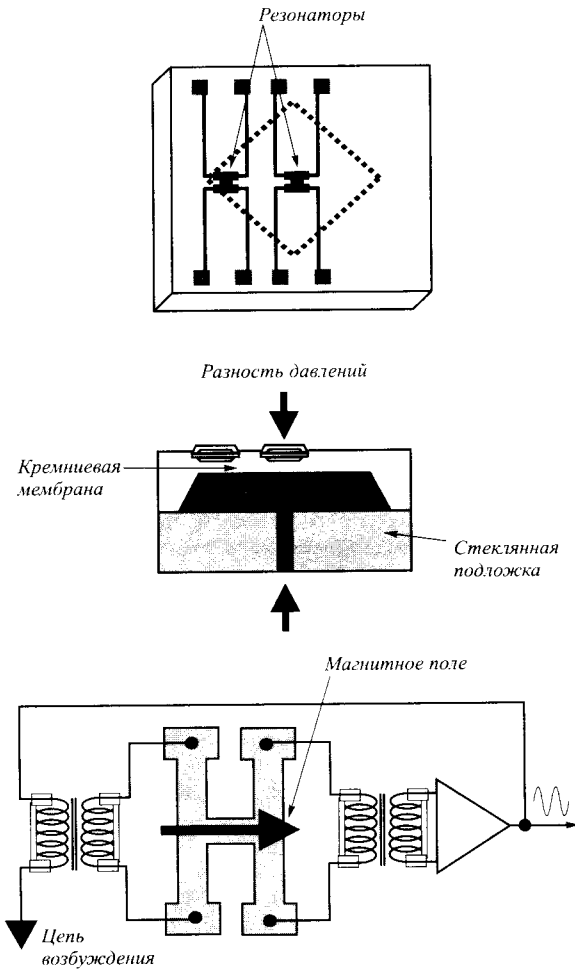


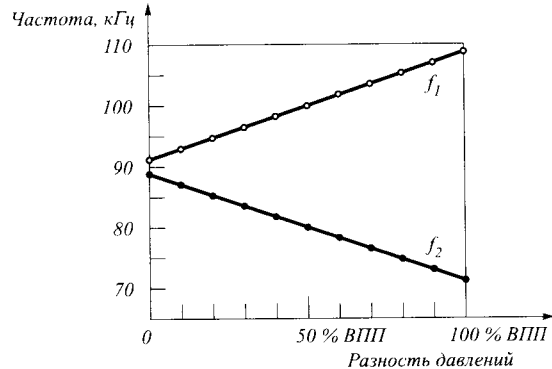
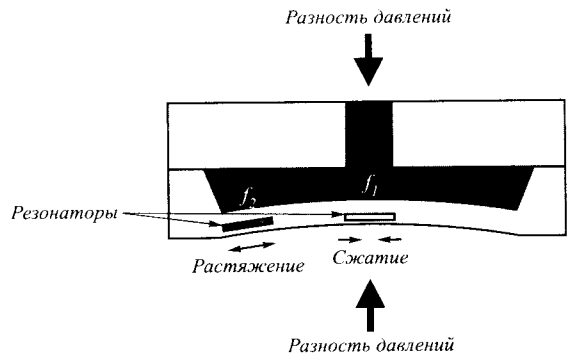
Резонансный принцип измерения разности давлений

Резонансный принцип измерения разности давлений основан на преобразовании деформации в частоту колебаний кремниевого резонатора.



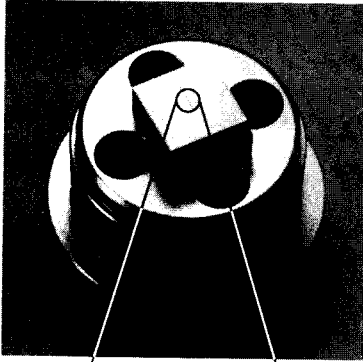
Конструкция и схема подключения резонансного сенсора представлены на рисунке. Сенсор представляет собой монокристаллическую кремниевую мембрану специальной конструкции, на которой методом эпитаксиального наращивания сформированы два резонатора И-образной формы. Мембрана закрепляется на стеклянной подложке, разность давлений от внешних разделитель-

ных мембран датчика передается на сенсор с помощью силиконового масла. Резонаторы находятся в поле постоянного магнита, и каждый из них подключен в цепь обратной связи генератора переменного напряжения. За счет пьезоэлектрического эффекта, которым обладает кремний, напряжение на одной паре контактов резонатора преобразуется в его деформацию, а затем обратное напряжение на другой паре контактов. В результате в цепи генерируется синусоидальное переменное напряжение на собственной частоте резонатора, поскольку он обладает очень высокой добротностью. Кварцевые резонаторы более простой конструкции повсеместно используются в электронике в качестве высокостабильных частотно-задающих элементов. Хорошо известно, что собственная частота такого резонатора определяется только тремя параметрами: его массой, геометрическими размерами и модулем Юнга.

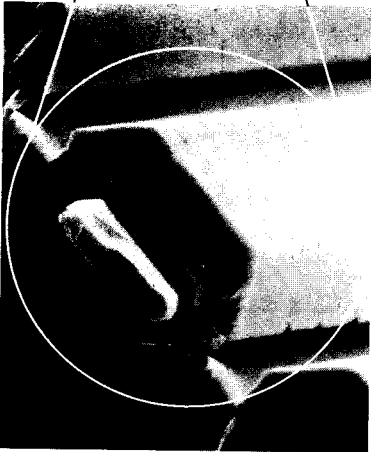


При приложении к сенсору разности давлений мембрана изгибается, и в результате ее деформации собственные частоты резонаторов изменяются пропорционально приложенному давлению. Сенсор спроектирован таким образом, что один резонатор при этом растягивается, а другой сжимается. Соответственно частота первого резонатора уменьшается, а второго увеличивается. Разность этих частот, прямо пропорциональная разности давлений, измеряется электронным модулем датчика, и по ней вычисляется разность давлений.

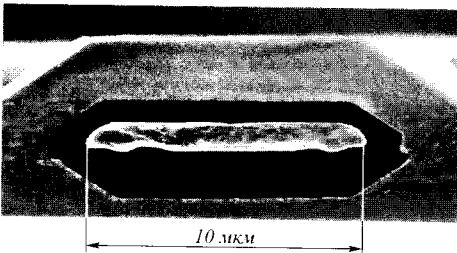
Дифференциально-резонансный принцип измерения и конструкции кремниевого резонансного сенсора обладают целым рядом очень важных преимуществ и обеспечивают разработчикам практически неограниченные возможности для совершенствования датчиков давления.



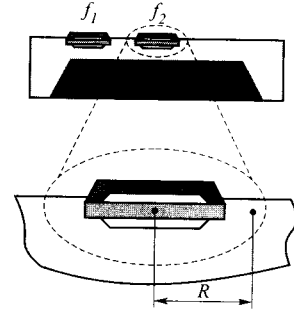
Резонансный сенсор



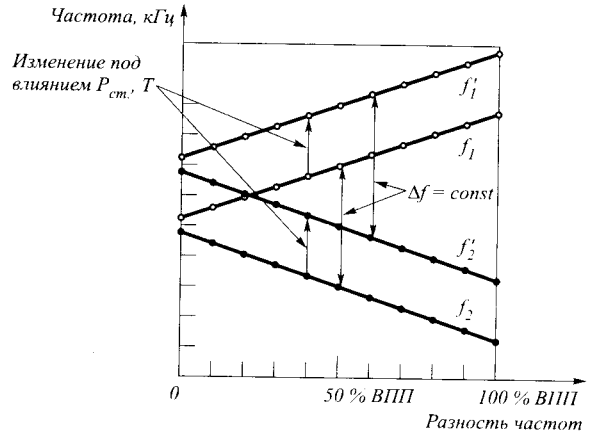
Разрез резонатора под электронным микроскопом



Во-первых, резонансный сенсор, благодаря абсолютным упругим свойствам монокристаллического кремния, не имеет гистерезиса (<0.001% измеряемой величины, в пределах погрешности эталонных средств измерения) и практически лишен нелинейности (<0.003% измеряемой величины). Собственные частоты резонаторов (порядка 90 кГц) лежат далеко за пределами спектра промышленных шумов, что обеспечивает сенсору иммунитет к вибрации.



Разность давлений: $\Delta P \sim f_1 - f_2$
 Статическое давление: $P_{ст} \sim f_1 + f_2$
 Температура: $T \sim R$



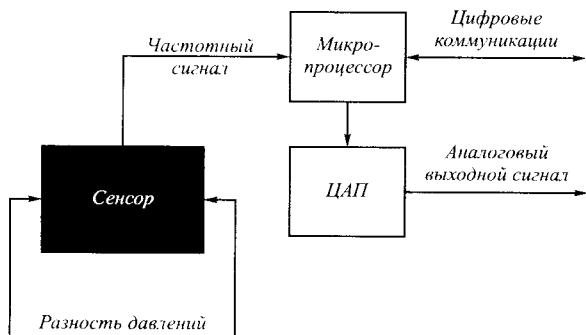
Равнозначность сторон высокого и низкого давления:

если $\Delta P > 0$, то $f_1 > f_2$;
 если $\Delta P < 0$, то $f_1 < f_2$

Во-вторых, дифференциальный выходной сигнал сенсора в сочетании с очень низким коэффициентом температурного расширения кремния ($<10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$) обеспечивает самокомпенсацию сенсора относительно влияния температуры ($<0,001 \text{ } \%/^{\circ}\text{C}$) и статического давления. Поскольку резонаторы идентичны, изменение температуры и статического давления приводит к сдвигу резонансных частот на одну и ту же величину, тогда как разность давлений изменяет разность частот. Кроме того, дифференциальный резонансный сенсор позволяет одновременно измерять сразу три величины: разность давлений, статическое давление и температуру.

В-третьих, у резонансного сенсора отсутствуют факторы дрейфа, поскольку монокристаллический кремний химически инертен и не подвержен "усталости", что обеспечивает практически абсолютную стабильность. Ниже приведены результаты многолетних исследований стабильности одного из первых серийно изготовленных резонансных сенсоров. (График внизу страницы).

В-четвертых, частотный выходной сигнал сенсора не требует аналого-цифрового преобразования. Резонансные частоты измеряются непосредственно цифровыми счетчиками с очень высокой точностью ($<0,004\%$ в серийных датчиках).



Это позволяет сделать датчик в полном смысле слова цифровым, устранить такие традиционные проблемы, как временную и температурную нестабильность аналоговых цепей измерительного усилителя и АЦП, необходимость подстройки нуля и калибровки датчика после перенастройки шкалы (у цифрового датчика перенастройка сводится к изменению коэффициентов, используемых микропроцессором для пересчета результатов измерения в аналоговый выходной сигнал). При передаче результатов измерений по цифровым протоколам перенастройка шкалы такому датчику вообще не требуется.

Наглядным примером, демонстрирующим возможности резонансного сенсора, является его применение в цифровых калибраторах давления МТ210/МТ220 с классом точности 0,01. Разумеется, рабочие средства измерения давления на резонансном принципе имеют более низкую точность, но не из-за конструктивных ограничений, а по причине сложности поверки высокоточных датчиков (при основной приведенной погрешности менее $\pm 0,04\%$ шкалы поверка должна производиться на рабочем эталоне давления) и недостаточной точности передачи результатов измерений через стандартный аналоговый выходной сигнал 4...20 мА.

Разработка резонансного принципа измерения стала настоящим прорывом в процессе совершенствования датчиков разности давлений. Она позволила добиться недостижимых прежде технических и метрологических характеристик датчиков, причем не путем усложнения их конструкции и технологии изготовления (различные компенсационные схемы, характеристика и т. д.), а за счет самого принципа измерений и конструкции сенсора. Поэтому предлагаемые в данном каталоге датчики разности давлений с резонансным сенсором серии ЕЖА сочетают в себе высокую точность и уникальную надежность с приемлемой стоимостью.

Стабильность сенсора, % шкалы

