

Датчики давления промышленной группы МИДА для нефтегазовой промышленности

Е.Г. Савченко, e-mail: seg@midaus.com

В.М. Стучебников, д.т.н., профессор, e-mail: vms@midaus.com

/ПГ МИДА, г. Ульяновск/

Рассмотрены датчики давления МИДА для нефтегазовой промышленности. Показаны их особенности и преимущества.

Ключевые слова: датчик давления, структура «кремний на сапфире» (КНС), датчик давления для криогенных температур

Pressure Sensors of MIDA Industrial Group for Oil and Gas Industry

E.G. Savchenko, V.M. Stuchebnikov /IG MIDA, Ulyanovsk/

The MIDA pressure sensors for the oil and gas industry are considered. Their features and advantages are shown.

Промышленная группа МИДА (МИкроэлектронные ДАтчики), возникшая в 1991 г., занимается разработкой и производством малогабаритных микроэлектронных датчиков давления, основанных на оригинальных тензочувствительных элементах из гетероэпитаксиальных структур «Кремний на сапфире» (КНС) [1]. Основные технические решения, относящиеся к использованию структур КНС для измерения механических величин, защищены авторскими свидетельствами СССР, патентами РФ, США, Франции и Германии. Начиная с 1993 г. датчики давления МИДА рекомендовала фирма «Газприборавтоматика» для применения на объектах объединения «Газпром». В 1990-х годах их широко использовали, в частности, в системах транспортировки газа, где они доказали свою надежность и точность.

В ПГ МИДА постоянно проводятся исследования и разработки датчиков на базе оригинальных конструкторских, схемотехнических и технологических решений, направленных на дальнейшее расширение возможностей измерения давления и температуры с помощью структур КНС, повышение точности, стабильности приборов, уменьшение их габаритов и массы.

В настоящее время для нефтегазовой промышленности Промышленной группой МИДА разработаны и серийно выпускаются датчики абсолютного и дифференциального давления для систем коммерческого учета расхода газа с точностью 0,1 %, преобразователи для контроля давления в скважинах с точностью 0,1 % при рабочей температуре до 350 °С. Разработаны преобразователи для одновременного точного измерения давления и температуры до 350 °С в нефтяных и газовых скважинах. Также ПГ МИДА выпускает десятки видов датчиков и преобразователей избыточного и абсолютного давления, разности давлений, разрежения, избыточного давления-разрежения. Верхний предел измерений датчиков и преобразователей составляет от 1 кПа до 250 МПа, основная погрешность – от 0,05 до 0,5 %, а диапазон температур измеряемых сред – от -200 до +500 °С. Датчики выпускаются как с аналоговыми (4–20 мА, 0–5 В, 0,5–4,5 В и др.), так и с цифровыми (RS-485/Modbus) выходными сигналами в обычном и во взрывозащищенном исполнении: искробезопасная цепь – Ex или взрывонепроницаемая оболочка – Вн. Все приборы имеют необходимые сертификаты, лицензии, свидетельства, разрешения. Метрологическая служба ООО «МИДАУС» аккредитована на проведение государственной поверки (включая класс 0,05 %) при выпуске датчиков из производства и ремонта. На предприятии действует система менеджмента качества ИСО 9001:2011.

Общепромышленная линейка датчиков давления МИДА представлена сериями МИДА-13П [2] и МИДА-15 [3] (рис. 1).



Рис. 1. Общепромышленные датчики давления серии МИДА-13П (слева) и МИДА-15 (справа)

МИДА-13П – общепромышленные датчики с аналоговым стандартным сигналом для измерения давления избыточного (ДИ), абсолютного (ДА), разрежения (ДВ), избыточного давления-разрежения (ДИВ) в обычном и взрывозащищенном (-Ех и -Вн) исполнениях, включая датчики с открытой мембраной (**рис. 2**), высокоточные датчики (-В и -К), датчики с блоком грозозащиты (-Г).



Рис. 2. Датчик МИДА-13П-Ех с открытой мембраной

МИДА-15 – общепромышленные датчики с аналоговым и цифровым выходным сигналом моделей ДИ, ДА, ДВ, ДИВ и ДД (перепада давлений), в том числе с низким энергопотреблением и во взрывозащищенном исполнении -Ех.

МИДА-ДИ-12П (рис. 3) – датчики избыточного давления высокотемпературных (до 350 °С) сред, включая датчики с открытой мембраной и с исполнением -Ех. Особенностью выпускаемых датчиков является нормировка дополнительной температурной погрешности – она нормируется не в %/10 °С, а зоной температурной погрешности в рабочем диапазоне температур [4].



Рис. 3. Общепромышленные датчики давления серии МИДА-12П

Кроме линейки общепромышленных датчиков, в ПГ МИДА разработан и выпускается ряд специализированных датчиков давления: эталонные датчики давления МИДА-15-Э, высокотемпературные датчики давления-температуры расплавов МИДА-12П-082, криогенные датчики давления МИДА-12П-12-КР, датчики абсолютного давления для вакуумной техники МИДА-ДА-15, погружные гидростатические уровнемеры МИДА-ДИ-15-П.

Активное развитие науки и промышленности, связанной с использованием криогенных жидкостей и газов (сжиженный природный газ, кислород, водород, азот, гелий), требует контроля процессов, протекающих при криогенных температурах. Для мониторинга состояния криогенных хладагентов требуется прежде всего измерение давления и температуры. Используемый метод измерения давления криогенных жидкостей и газов с помощью импульсных трубок, выводящих давление к датчикам, находящимся в нормальных условиях, создает определенные сложности. Кроме необходимости вывода таких трубок через теплоизолирующие устройства и создания дополнительного притока тепла к измеряемой среде, наличие таких «теплых тупиков» в ряде случаев приводит к возникновению в них спонтанных колебаний давления [5], резко снижающих точность измерения и дополнительно увеличивающих теплоприток к измеряемой среде [6]. Поэтому наиболее точными являются «холодные датчики», устанавливаемые непосредственно на

резервуаре или трубопроводе с криогенной средой. В настоящее время «холодные» датчики давления для криогенных сред в России не производятся. Все датчики давления, которые можно размещать непосредственно на трубопроводе с криогенной средой, рекламируются такими американскими компаниями, как GP:50 [7], PCB Piezotronic [8], OMEGA [9], KA Sensors [10], Kulite [11]. По всей видимости, это связано с производством в этой стране и экспортом сжиженного природного газа. Датчики этих фирм измеряют только давление, в отдельных случаях есть приборы, в которые дополнительно устанавливается датчик температуры (как правило, это платиновый терморезистор).

В Промышленной группе «Микроэлектронные датчики» (ПГ МИДА) разработаны и выпускаются *датчики давления криогенных сред МИДА-ДА-12П-12-КР* на основе структур КНС (рис. 4), работающие до температуры жидкого азота (переход к более низким температурам возможен, но требует значительно более сложной аппаратуры для контроля и настройки датчиков). Такие датчики с цифровым выходным сигналом позволяют также контролировать температуру измеряемой среды, причем в этом случае термочувствительным элементом является мостовая измерительная схема преобразователя, т.е. и давление, и температуру измеряет один чувствительный элемент. Стоит отметить, что и заявленная точность датчиков американского производства [7–11] в 1,5–2 раза хуже, чем у датчика МИДА. В настоящее время датчик МИДА-12П-12-КР успешно прошел сертификационные испытания и внесен Государственный реестр средств измерений.



Рис 4. Датчик давления МИДА для криогенных температур

Датчик представляет собой составную конструкцию, в которой первичный преобразователь, устанавливаемый непосредственно на криогенном объекте, соединяется электрическим кабелем во фторопластовой трубке с электронным блоком, находящимся при температуре окружающей среды. В электронном блоке происходит коррекция температурных погрешностей датчика и преобразование выходного сигнала первичного преобразователя в унифицированный аналоговый или цифровой выходной сигнал.

Типичная результирующая нагрузочная характеристика датчика при температуре жидкого азота показана на рис. 5.

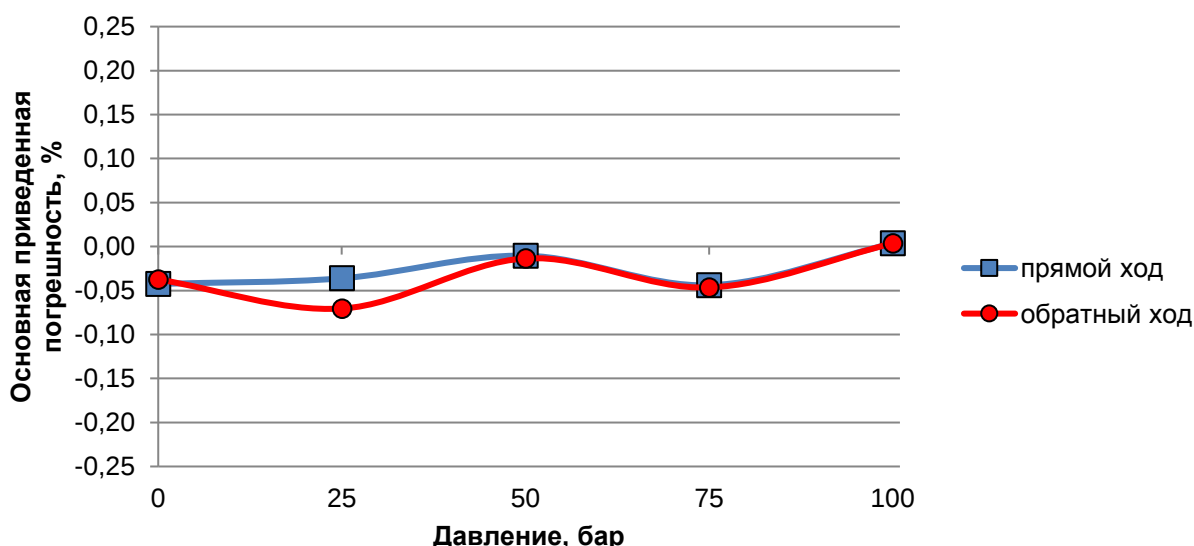


Рис. 5. Нагрузочная характеристика датчика давления МИДА-ДА-12П-12-КР при температуре жидкого азота

Как видно, погрешность измерения давления не превышает $\pm 0,1\%$ от диапазона измерения. Диапазоны измерения таких датчиков изменяются в пределах от 0–0,6 МПа до 0–10 МПа. При использовании более совершенного оборудования диапазоны измерения могут быть расширены в сторону как меньших, так и больших давлений.

Датчики МИДА-ДА-12П-12-КР могут иметь выходной сигнал:

- аналоговый 4–20 мА (напряжение питания 12–36 В); или
- цифровой RS-485/Modbus (напряжение питания 3,3–12 В).

В случае цифрового выходного сигнала имеется возможность одновременного измерения давления и температуры. Значения измеряемых параметров могут выводиться одновременно на компьютер либо передаваться в сеть RS-485/Modbus.

В настоящее время в промышленной группе МИДА серийно производятся сертифицированные **эталонные датчики давления МИДА-15-Э** с цифровым выходным сигналом (**рис. 6**) с основной погрешностью не хуже 0,05 %. Эталонные датчики обеспечивают суммарную погрешность $< 0,05\%$ в диапазоне температур (10÷35) °С.



Рис. 6. Эталонный датчик давления МИДА-15-Э

Для изготовления датчиков класса 0,05 % и лучше модули давления специальным образом отбираются, а калибровка проводится на более точном прецизионном оборудовании (класс погрешности не хуже 0,015 %), в отличие от серийных общепромышленных датчиков. Типичные результаты испытаний эталонных датчиков приведены на **рис. 7–9**.

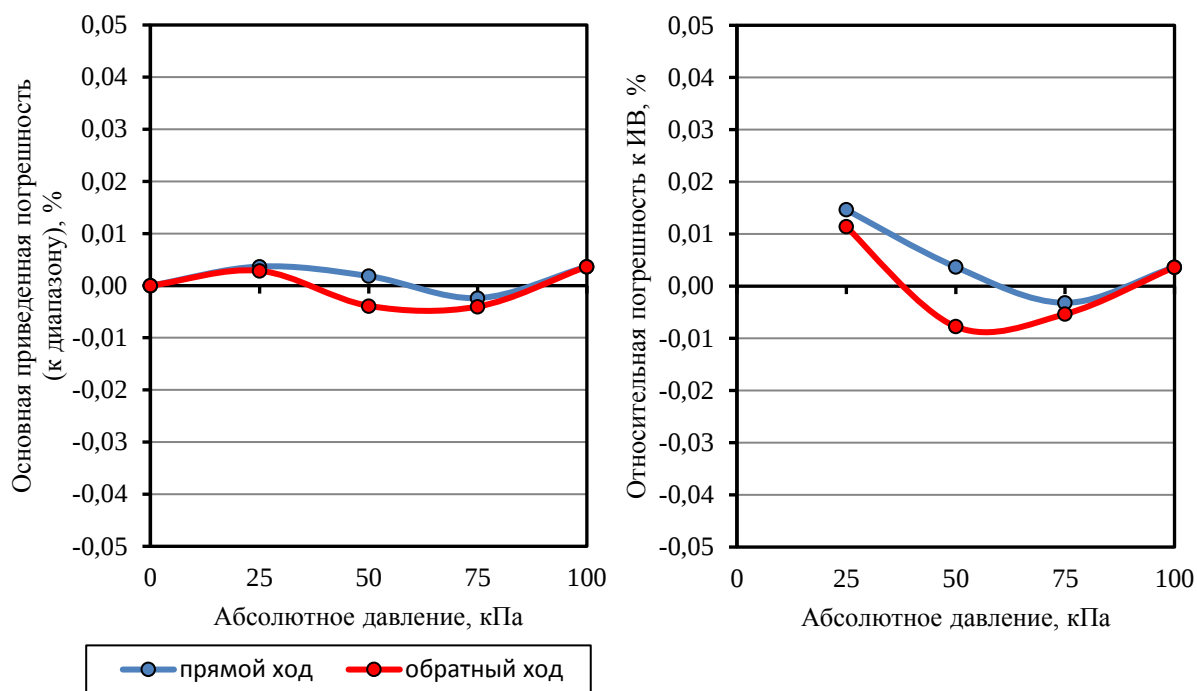


Рис. 7. Основная приведенная к диапазону измерения (слева) и относительная к измеряемой величине (справа) погрешность датчика абсолютного давления МИДА-ДА-15-Э-0,05/100 кПа

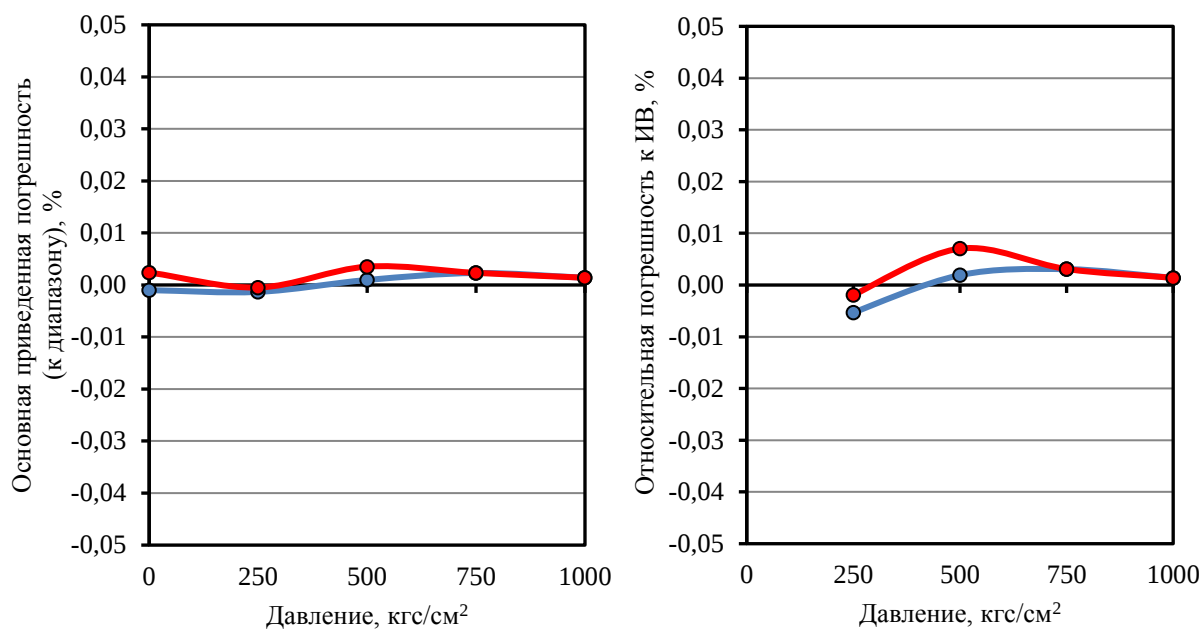


Рис. 8. Основная приведенная (слева) и относительная (справа) погрешность датчика избыточного давления МИДА-ДИ-15-Э-0,05/100 МПа

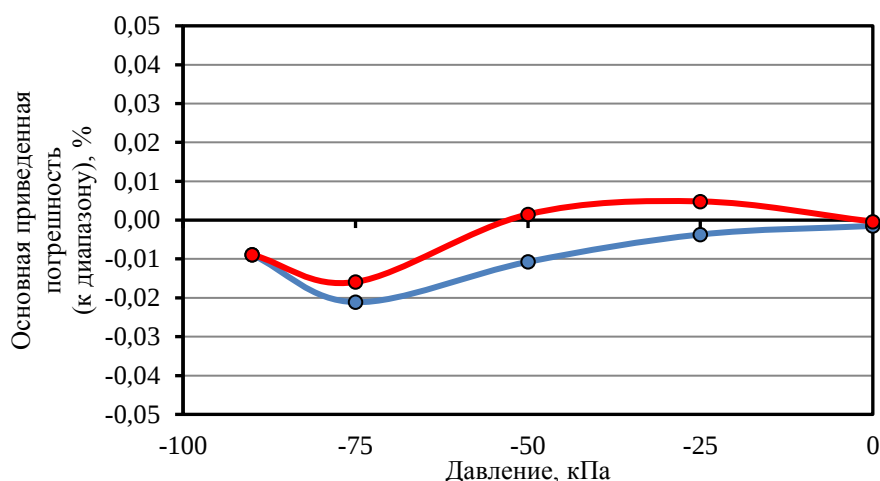


Рис. 9. Основная приведённая погрешность датчика разрежения МИДА-ДВ-15-Э-0,05/-100 кПа

Как видно из рис. 7 и 8, реальная погрешность датчиков может составлять вплоть до 0,01 % относительной погрешности к измеряемой величине (ИВ). Добиться таких результатов для данных датчиков помимо оптимизации конструкции и технологических процессов при производстве первичных тензопреобразователей помог переход на АЦП большей разрядности (24 bit вместо 16 bit). Такие характеристики позволяют использовать эти датчики в качестве эталона первого разряда при калибровке и поверке датчиков давления в производственном процессе, заменяя обычно применяемые грузопоршневые манометры и измерительные преобразователи ИПД. Непосредственная связь этих датчиков с автоматизированным рабочим местом испытателя уменьшает влияние человеческого фактора на задание давления и повышает точность калибровки датчиков. Эксплуатация эталонных датчиков в производстве ПГ МИДА вместо грузопоршневых манометров показала хорошие результаты. Датчики МИДА-15-Э также могут применяться в качестве цифровых манометров при подключении к компьютеру с операционной системой Windows или смартфону с операционной системой Android через адаптер USB. Управление работой датчика и регистрация показаний производится с помощью ПО MIDA [12]. Датчики могут быть аттестованы как эталоны 1-го или 2-го разряда (см. **таблицу**).

Основные характеристики эталонных датчиков давления МИДА-15-Э

Диапазон измеряемых давлений, МПа	от 0–0,04 до 0–250 (ДИ) от 0–0,04 до 0–4 (ДА) -0,1–0 (ДВ) от ±0,02 до -0,1...2.5 (ДИВ)
Выходной сигнал	RS-485/Modbus RTU
Диапазон рабочих температур	+10...+35 °C
Основная погрешность	≤0.05 %
Напряжение питания, В	3–12
Степень защиты	IP65
Металл, контактирующий с измеряемой средой	титановый сплав, нержавеющая сталь
Номер в Госреестре средств измерения РФ	50730-17
Межповерочный интервал	1 год

ПГ МИДА помимо датчиков давления выпускает также **преобразователи давления для нефтегазовой промышленности**. Преобразователи давления, разрабатываемые и выпускаемые ПГ МИДА, – это конструктивно законченные изделия без активной электроники с питанием

напряжением и нормированным выходным сигналом (обычно 5 или 10 мВ на 1 В питания) с пассивной схемой коррекции температурной погрешности. Метрологические характеристики преобразователей нормируются точностью (комбинация нелинейности, вариации и повторяемости) и зоной температурной погрешности в компенсированном диапазоне температур. При рабочих температурах до 150 °С плата со схемой температурной коррекции находится внутри корпуса преобразователя, при более высоких рабочих температурах – вне корпуса с возможностью размещения в области пониженных температур. Штуцеры и типы подключения преобразователей могут быть изменены по требованиям заказчика. По согласованию с заказчиком возможна поставка преобразователей с ненормированным выходным сигналом без компенсации температурной погрешности.

Для измерительных комплексов в газовых и нефтяных скважинах разработаны и выпускаются **миниатюрные преобразователи серии МИДА-ПИ(ПА)-82/87/88 (рис. 10)**, имеющие точность не хуже 0,1 %. В зависимости от метода закрепления они имеют диаметр 16,14 и 10 мм. Диапазоны измерения давления составляют от 1 до 160 МПа, диапазон температур от -40 до +300 °С.



Рис. 10. Преобразователь давления МИДА ПИ-82

Список источников

1. Стучебников В.М. Структуры Кремний-на-сапфире как материал для тензопреобразователей механических величин // Радиотехника и электроника. – 2005. – Т. 50. – С. 678–696.
2. <http://www.midaus.com/dokumentatsiya/publikatsii/preobrazovateli-i-datchiki-pg-mida/15-obshchepromyshlennye-datchiki-davleniya-mida-13p.html>
3. <http://www.midaus.com/dokumentatsiya/publikatsii/preobrazovateli-i-datchiki-pg-mida/20-osobennosti-tsifrovyykh-obshchepromyshlennykh-datchikov-davleniya-mida-15.html>
4. Стучебников В.М. О нормировании температурной погрешности тензорезисторных полупроводниковых датчиков // Конструирование и производство датчиков, приборов и систем. – Датчики и системы. – 2004. – № 9. – С. 15–19.
5. Clement G.R., Gaffney J. Thermal oscillations in low temperature apparatus // Adv. Cryogenic. Eng., 1953, V.1, P. 302–306.
6. Yazaki T., Tominaga A., Narahara Y. Large heat transport due to spontaneous gas oscillations induced in a tube with steep temperature gradient // Trans. ASME / J. of Heat Transfer, 1983, V.105, No4, P. 889–894.
7. Оф. сайт GP:50 NY LTD – Режим доступа: <https://www.gp50.com/>, свободный. – Яз. англ.
8. Оф. сайт PCB Piezotronics – Режим доступа: <https://www.pcb.com/>, свободный. – Яз. англ.
9. Оф. сайт OMEGA Engineering – Режим доступа: <http://www.omega.co.uk/>, свободный. – Яз. англ.
10. Оф. сайт KA Sensors Ltd – Режим доступа: <https://www.kasensors.com/>, свободный. – Яз. англ.

11. Оф. сайт Kulite Semiconductor Products – Режим доступа: <http://www.kulite.com/>, свободный. – Яз. англ.
12. <http://www.midaus.com/dokumentatsiya/programmnoe-obespechenie-dlya-priborov-mida.html>

ДАТЧИКИ ДАВЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ ГРУППЫ МИДА ДЛЯ НЕФТЕГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

PRESSURE SENSORS OF MIDA INDUSTRIAL GROUP FOR OIL AND GAS INDUSTRY

Савченко Евгений Геннадьевич
И.о. начальника исследовательской лаборатории
e-mail: seg@midaus.com

Savchenko Evgeniy G.
Head of laboratory
e-mail: seg@midaus.com

Стучебников Владимир Михайлович
д-р техн. наук, профессор
e-mail: vms@midaus.com

Stuchebnikov Vladimir M.
D. Sc. (Tech.), Professor
e-mail: vms@midaus.com

ПГ МИДА, г. Ульяновск

IG MIDA, Ulyanovsk

Аннотация: Рассмотрены датчики давления МИДА для нефтегазовой промышленности. Показаны их особенности и преимущества.

Annotation: The MIDA pressure sensors for the oil and gas industry are considered. Their features and advantages are shown.

Ключевые слова: датчик давления, структура «кремний на сапфире» (КНС), датчик давления для криогенных температур.

Keywords: pressure transducer, structure "Silicon-on-Sapphire" (SOS), pressure sensor for cryogenic temps.