

# Сенсорика.

## Лекция Цифровые датчики температуры и их применение.

**Карнаушенко В.П. Бородин А.В.**

**Факультет электронной техники, кафедра МЭПУ, ХНУРЕ**

***Харьковский национальный университет радиоэлектроники,  
Кафедра МЭПУ, тел. 702-13-62, e-mail:<vprk @ ktur.kharkov.ua>***



# Цифровые датчики температуры и их применение

Цель лекции: Ознакомление с цифровыми датчиками температуры и их применением

Содержание

- Цифровые датчики температуры и их применение



# Цифровые датчики температуры и их применение

- ◆ В последнее десятилетие появился новый класс интегральных микросхем — монолитных цифровых датчиков температуры. Отличительными их особенностями являются прямое преобразование температура — цифра, не требующее внешних АЦП и других компонент, калибровка и коррекция характеристик в процессе изготовления, возможность адресации большого числа цифровых датчиков, работающих на одной шине. Сегодня цифровые датчики температуры присутствуют практически во всех электронных системах.



# Цифровые датчики температуры и их применение

- ◆ Они используются: для контроля температуры процессоров персональных компьютеров, предохраняя их от перегрева; в аналитическом и научном оборудовании, при автоматическом регулировании температуры окружающей среды в кондиционерах и отопительных системах.
- ◆ В отличие от традиционных аналоговых датчиков температуры на основе термисторов, термопар и резисторов они обладают более высокой помехозащищенностью, так как на их выходе формируется цифровой код, а не аналоговый сигнал малого уровня.



# Цифровые датчики температуры и их применение

- ◆ Преимущества цифровых датчиков температуры перед традиционными в том, что они не требуют калибровки, линеаризации характеристики, компенсации холодного перехода. Но самое главное преимущество цифровых датчиков температуры состоит в объединении на одном кристалле датчиков температуры и специализированных устройств (ОЗУ, ПЗУ, компараторов, АЦП, таймеров и т. д.), что ознаменовало собой переход к созданию датчиков температуры нового поколения.



# Цифровые датчики температуры и их применение

- ◆ Основными производителями цифровых датчиков температуры являются зарубежные фирмы Analog Devices, National Semiconductor, Microchip Technology и, конечно, MAXIM с Dallas Semiconductor. К сожалению, пока нет единой классификации цифровых датчиков температуры, как не существует и единой системы их параметров, что затрудняет сравнение датчиков, выпускаемых различными фирмами. И все-таки в данной статье сделаем попытку систематизации цифровых датчиков температуры.



# Цифровые датчики температуры и их применение

- ◆ Основным критерием, по которому интегральная микросхема датчика температуры может быть отнесена к цифровому типу, может служить совокупность следующих свойств:
  - внутреннее преобразование температуры в цифровой код на одном кристалле, не требующее внешних компонентов;
  - отсутствие элементов калибровки и коррекции характеристик датчика;
  - последовательный цифровой интерфейс на выходе, такой как I2C, SPI, SMBUS, MicroLan или любой другой, обеспечивающий связь цифрового датчика с микроконтроллером или компьютером.



# Цифровые датчики температуры и их применение

- ◆ Учитывая сложность и комплексность рассматриваемых приборов, круг решаемых ими задач, а также то, что непосредственно на выходе датчика формируется цифровой код температуры, более правильно для рассматриваемого класса микросхем было бы употреблять термин «Цифровые Термометры и Термостаты» — термин, употребляемый фирмами MAXIM и DALLAS в своих каталогах.



# Цифровые датчики температуры и их применение

- ◆ Рассмотрим работу цифровых датчиков температуры более подробно на примере двух наиболее распространенных и представительных семейств микросхем фирм Dallas Semiconductor (MAXIM) и Analog Devices.



# Цифровые датчики температуры и их применение

- ◆ Один из первых цифровых датчиков температуры фирмы Dallas Semiconductor — DS1820.
- ◆ Отличительной его особенностью является совмещение функций измерителя температуры и автономно работающего предварительно запрограммированного термостата.



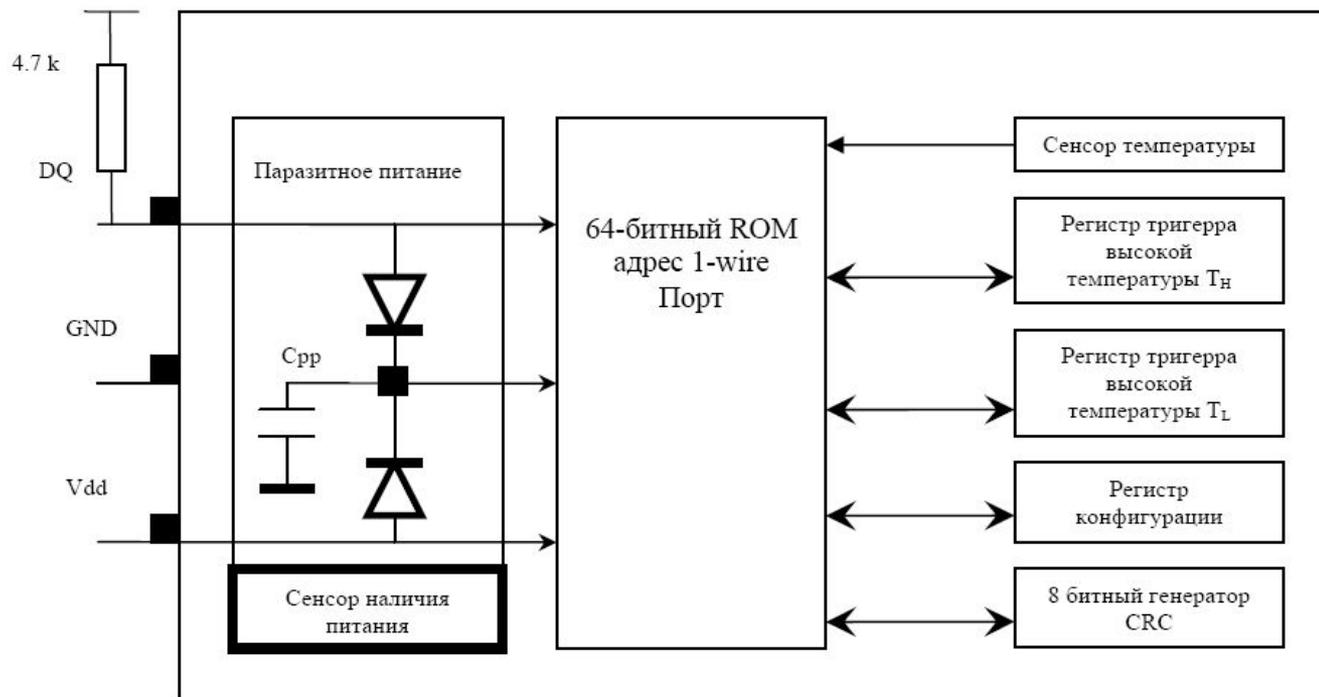
# Цифровые датчики температуры и их применение

- ◆ DS18B20 использует исключительно 1-Wire протокол – при этом формируется соединение, которое осуществляет коммуникацию на шине, используя всего один управляющий сигнал.
- ◆ Шина должна быть подключена к источнику питания через подтягивающий резистор, так как все приборы связаны с шиной, используют соединение через Z-состояния или вход открытого стока.
- ◆ Используя эту шину микропроцессор (ведущий) идентифицирует и обращается к датчикам температуры, используя 64-битовый код прибора.
- ◆ Поскольку каждый прибор имеет уникальный код, число приборов, к которым можно обратиться на одной шине, фактически неограниченно.

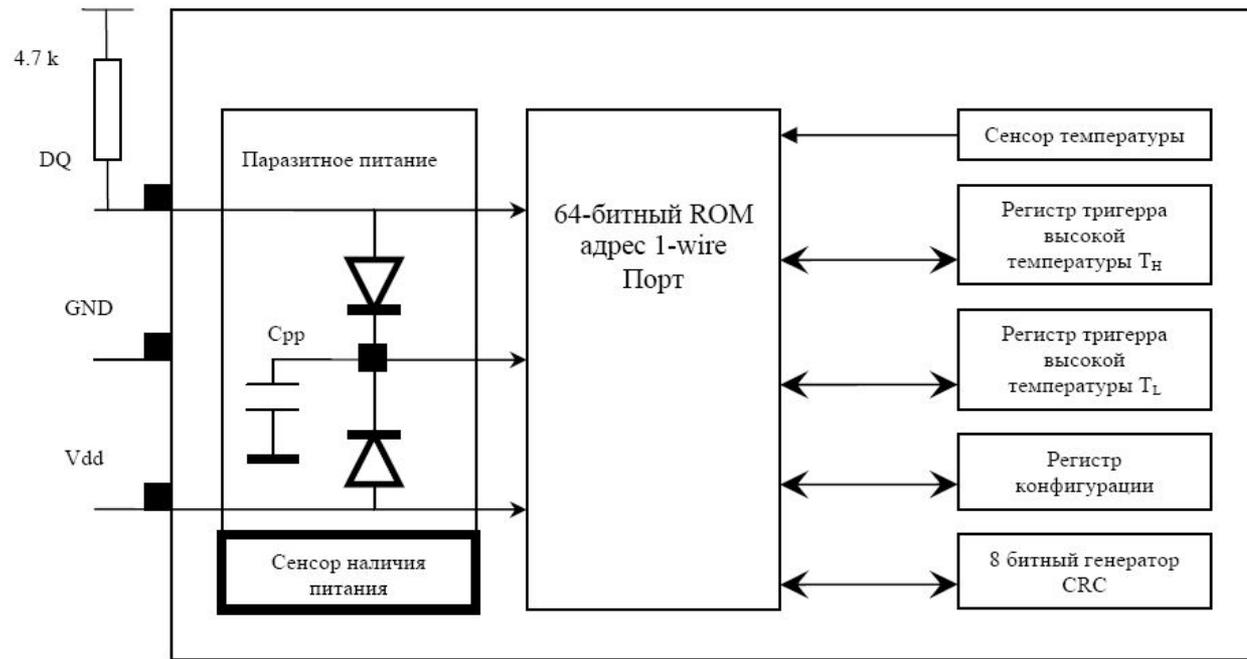


# Цифровые датчики температуры и их применение

- ◆ Другая особенность DS18B20 - способность работать без внешнего питания.
- ◆ Эта возможность предоставляется через подтягивающий резистор.
- ◆ Высокий сигнал шины заряжает внутренний конденсатор (C<sub>PP</sub>), который питает прибор, когда на шине низкий уровень.



# Цифровые датчики температуры и их применение



- ◆ При этом максимальная измеряемая температура  $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
- ◆ Для расширения диапазона температур до  $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$  необходимо использовать внешнее питание.

# Цифровые датчики температуры и их применение

- ◆ *Основные функциональные возможности DS18B20 - температурный преобразователь.*
- ◆ Разрешающая способность температурного преобразователя может быть изменена пользователем и составляет 9, 10, 11, или 12 битов, соответствуя приращениям (дискретности измерения температуры) 0.5 °C, 0.25°C, 0.125°C, и 0.0625°C, соответственно.
- ◆ Разрешающая способность по умолчанию установлена 12-бит.
  - *В исходном состоянии DS18B20 находится в состоянии покоя.*
- ◆ Чтобы начать температурное измерение и преобразование, ведущий должен подать команду начала конвертирования температуры [0x44]...



# Цифровые датчики температуры и их применение

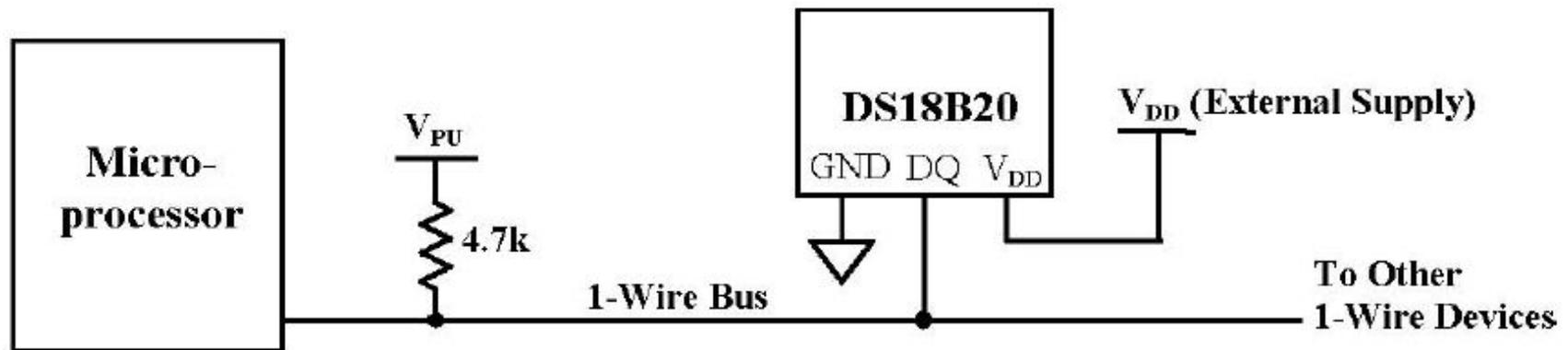
- ◆ После конвертирования, полученные данные запоминаются в 2-байтовом регистре температуры в оперативной памяти, и DS18B20 возвращается к его неактивному состоянию.
- ◆ Если DS18B20 включен с внешним питанием, ведущий может контролировать конвертирование температуры (после команды [0x44]) по состоянию шины.
- ◆ На шине будет присутствовать логический «0» когда происходит температурное преобразование. И логическая «1», когда конвертирование выполнено.
- ◆ Если DS18B20 включен с паразитным питанием, эта технология уведомления не может быть использована, так как шину нужно подать высокий уровень (напряжение питания) в течение всего времени температурного преобразования.



# Цифровые датчики температуры и их применение

- DS18B20 может быть включен с внешним питанием V<sub>DD</sub>,
- или он может работать в режиме «паразитного питания», которое позволяет DS18B20 функционировать без питания на выводе V<sub>DD</sub>.

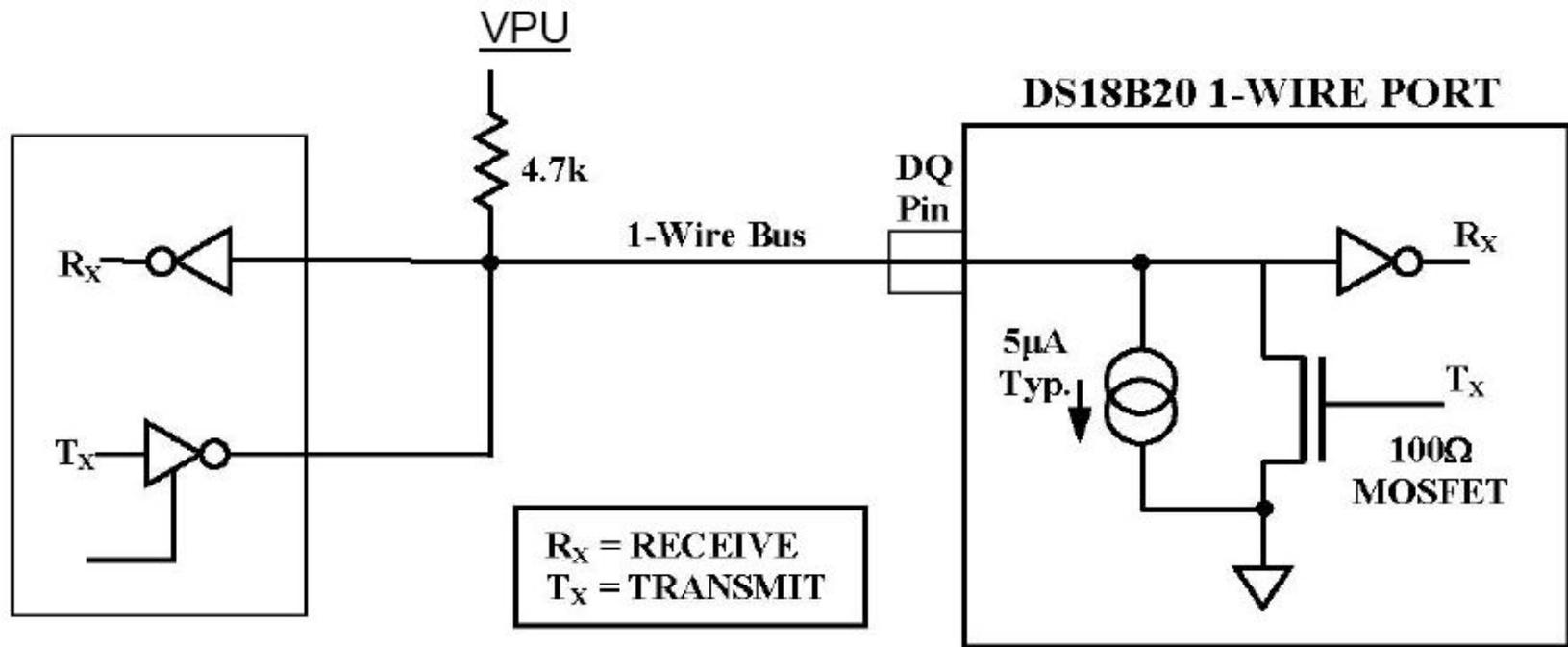
## POWERING THE DS18B20 WITH AN EXTERNAL SUPPLY





# Цифровые датчики температуры и их применение

- ◆ Последовательность операций для обращения к DS18B20:
  - Шаг 1. Инициализация
  - Шаг 2. Команда ROM (сопровождается любым требуемым обменом данными)
  - Шаг 3. Функциональная Команда DS18B20 (сопровождается любым требуемым обменом данными)



# Цифровые датчики температуры и их применение

- ◆ **Принцип работы** цифровых датчиков температуры фирмы Dallas Semiconductor основан на подсчете числа импульсов, вырабатываемых генератором с низким температурным коэффициентом во временном интервале, который формируется другим генератором с высоким температурным коэффициентом.
- ◆ При этом при формировании цифрового кода температуры учитывается и компенсируется параболическая зависимость частот обоих генераторов от температуры.
- ◆ Микросхемы этого семейства появлялись в разное время, имеют разную точность, разрешающую способность и отличаются интерфейсом.





# Цифровые датчики температуры и их применение

- ◆ Цикл преобразования температуры в цифровой 9-разрядный код (включая знак) у этой микросхемы занимает 1 с. Двухнаправленный цифровой интерфейс с помощью трех сигналов — CLK (синхронизация), DQ (данные) и RST (сброс) — позволяет как считывать температуру, так и программировать температурные уставки режима термостатирования.

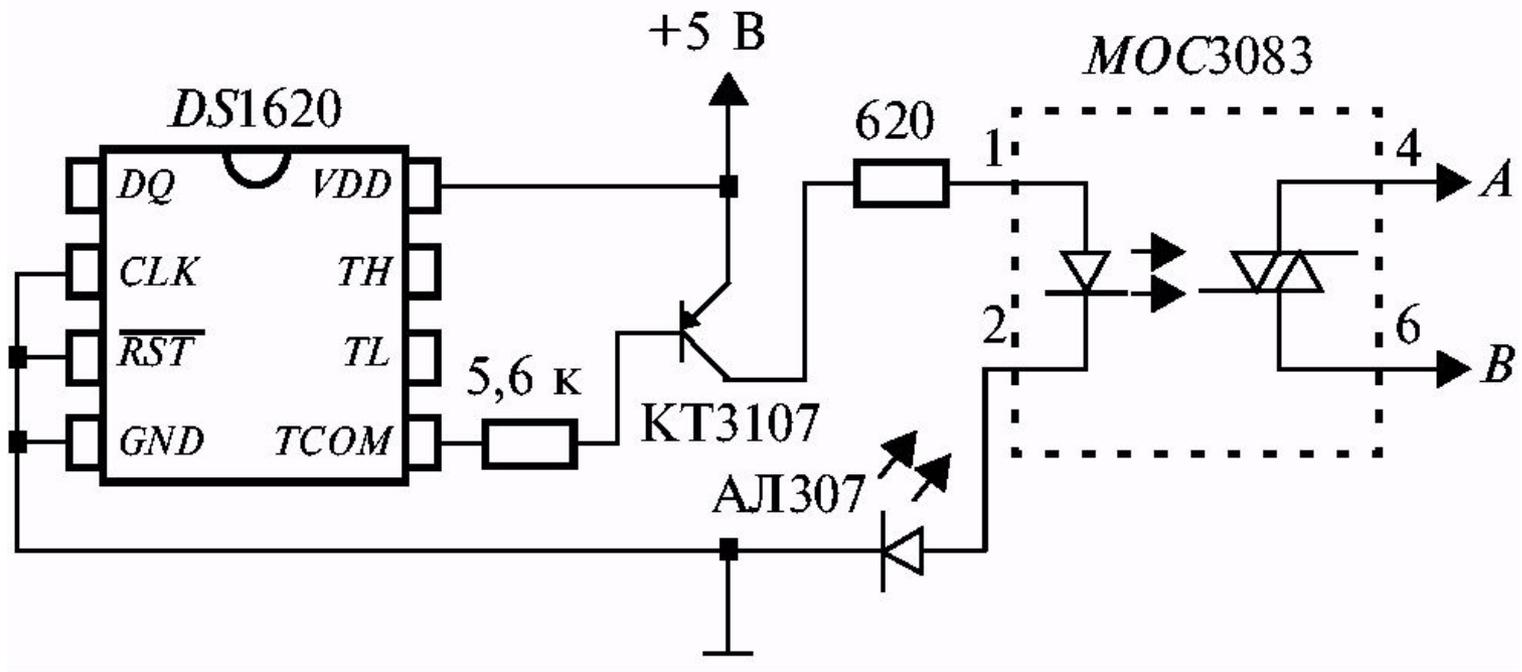


# Цифровые датчики температуры и их применение

- ◆ Датчик DS1620 работает в двух режимах: как температурный цифровой датчик под управлением микроконтроллера и как датчик-термостат с выходным сигналом, управляющим исполнительным устройством автономно.
- ◆ Программирование температурных уставок в энергонезависимую память позволяет применять DS1620 в терморегуляторах с фиксированным значением регулируемой температуры.



# Цифровые датчики температуры и их применение



# Цифровые датчики температуры и их применение

- ◆ *Функциями термостата* обладает и микросхема DS1821, однако у нее меньшая разрешающая способность (8 бит), и функции термостата и интерфейса совмещены на одном выводе, т. е. или эта микросхема работает в ключевом режиме с предварительно запрограммированными температурными уставками, или как измеритель температуры с однопроводным интерфейсом MicroLan («I WIRE»), предложенным фирмой Dallas Semiconductor



# Цифровые датчики температуры и их применение

- ◆ Рассмотрим более подробно микросхему DS18S20.
- ◆ В ней используется уникальный однопроводный интерфейс, требующий единственного однобитного порта для обмена информацией.
- ◆ Этот интерфейс обладает возможностью использования большого числа цифровых датчиков для измерения температуры одновременно в нескольких точках, подключенных к одной двухпроводной линии, благодаря тому, что у каждого датчика имеется свой номерной код в ПЗУ.



# Цифровые датчики температуры и их применение

- ◆ Этим же свойством, позволяющим соединять датчик всего двумя проводами, обладают датчики DS18B20 и DS1822,
  - но в отличие от DS18S20 они могут перед началом измерений программироваться на необходимую разрешающую способность преобразования температуры в 9-12-разрядный код.
- ◆ При этом существенно сокращается время преобразования: с 1 с (12 бит) до 100 мс (9 бит).
- ◆ Датчик DS1822 является "клоном" DS18B20 и имеет худшую точность, и поэтому дешевле. Таким же дешевым "клоном" DS1620 является DS1720.



# Цифровые датчики температуры и их применение

- ◆ Отдельно о цифровых датчиках DS2436 и DS2438.
  - Хотя по своему функциональному назначению они относятся к приборам контроля автономных источников питания (батарей и аккумуляторов), тем не менее, они полностью отвечают требованиям принятой нами классификации, и их можно отнести к цифровым датчикам температуры.
  - Более того, они имеют все положительные качества датчиков температуры типа DS18X2X: однопроводный интерфейс MicroLan; уникальный идентификационный номер, позволяющий подключать их во множественном количестве параллельно к одной линии связи; 13-разрядный преобразователь температура - код.



# Цифровые датчики температуры и их применение

- ◆ В дополнение к этому датчик DS2436 имеет 10-разрядный АЦП, 256-битное EEPROM, 16-битный счетчик, а у DS2438 - два 10-разрядных АЦП и часы реального времени.
- ◆ Часы реального времени содержат цифровые датчики температуры DS1629 и DS1921.
- ◆ Цифровые датчики температуры DS1920 и DS1921 оформлены в специальный герметичный корпус F5 Micro CAN в виде металлической таблетки, известной также как iButton.
- ◆ DS1921 может использоваться для измерения температуры через задаваемые промежутки времени с записью измеренных величин во внутреннюю память объемом в 2048 измерений.
- ◆ Эта микросхема содержит внутри кварцевый генератор на 32768 Гц, определяющий точность хода часов, и литиевую батарейку.



# *Семейство цифровых датчиков фирмы Analog Devices.*

- ◆ Принцип работы первых микросхем ТМРОЗ и ТМР04 предельно прост.
- ◆ На одном и том же кристалле микросхемы был расположен аналоговый преобразователь температуры в напряжение и модулятор цифрового генератора, на который подавалось напряжение датчика.
- ◆ Скважность импульсов генератора была пропорциональна температуре, и эти импульсы подаются на выход микросхемы.
- ◆ Достаточно высокая точность измерения температуры достигается за счет использования сигма-дельта модулятора 1-го порядка.



# Цифровые датчики температуры и их применение

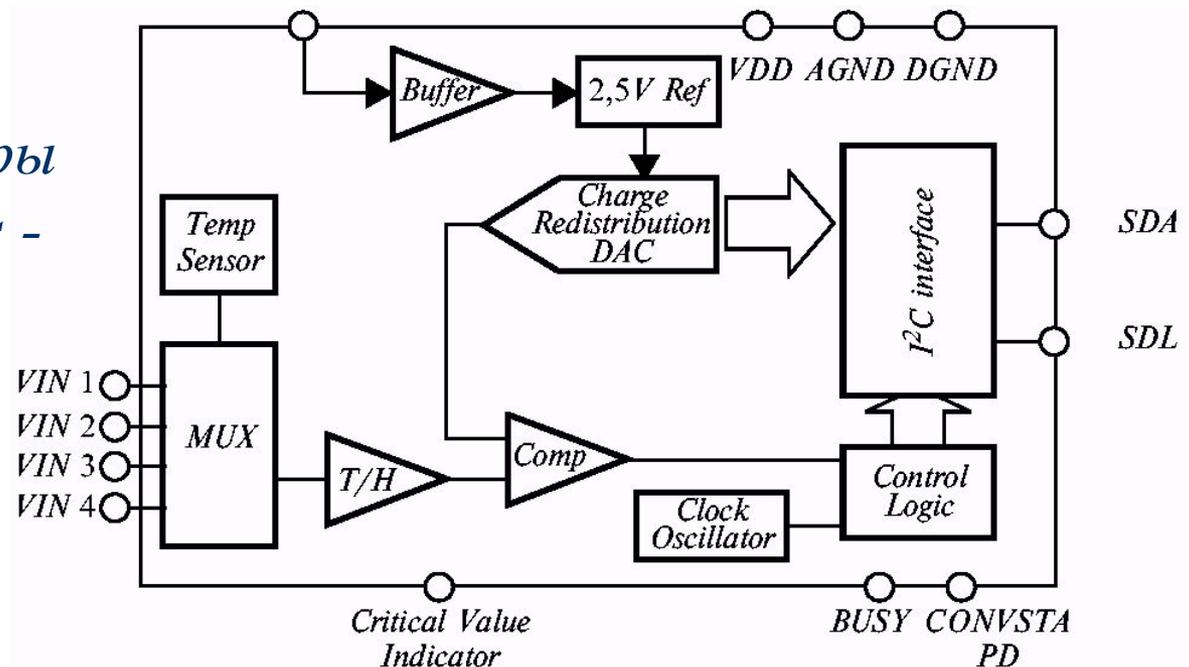
- ◆ Отличие TMP04 от TMP03 лишь в том, что в TMP03 на выходе использовался транзистор с открытым коллектором, а в TMP04 — CMOS/TTL выход.
- ◆ В следующих образцах цифровых датчиков температуры фирмы Analog Devices стало применяться прямое преобразование напряжения аналогового датчика температуры в цифровой код с помощью АЦП.
- ◆ Вначале широко использовалось 10-разрядное преобразование, а в ADT7302 применен 13-разрядный АЦП, и, как заявлено фирмой, это наиболее точный цифровой датчик температуры.



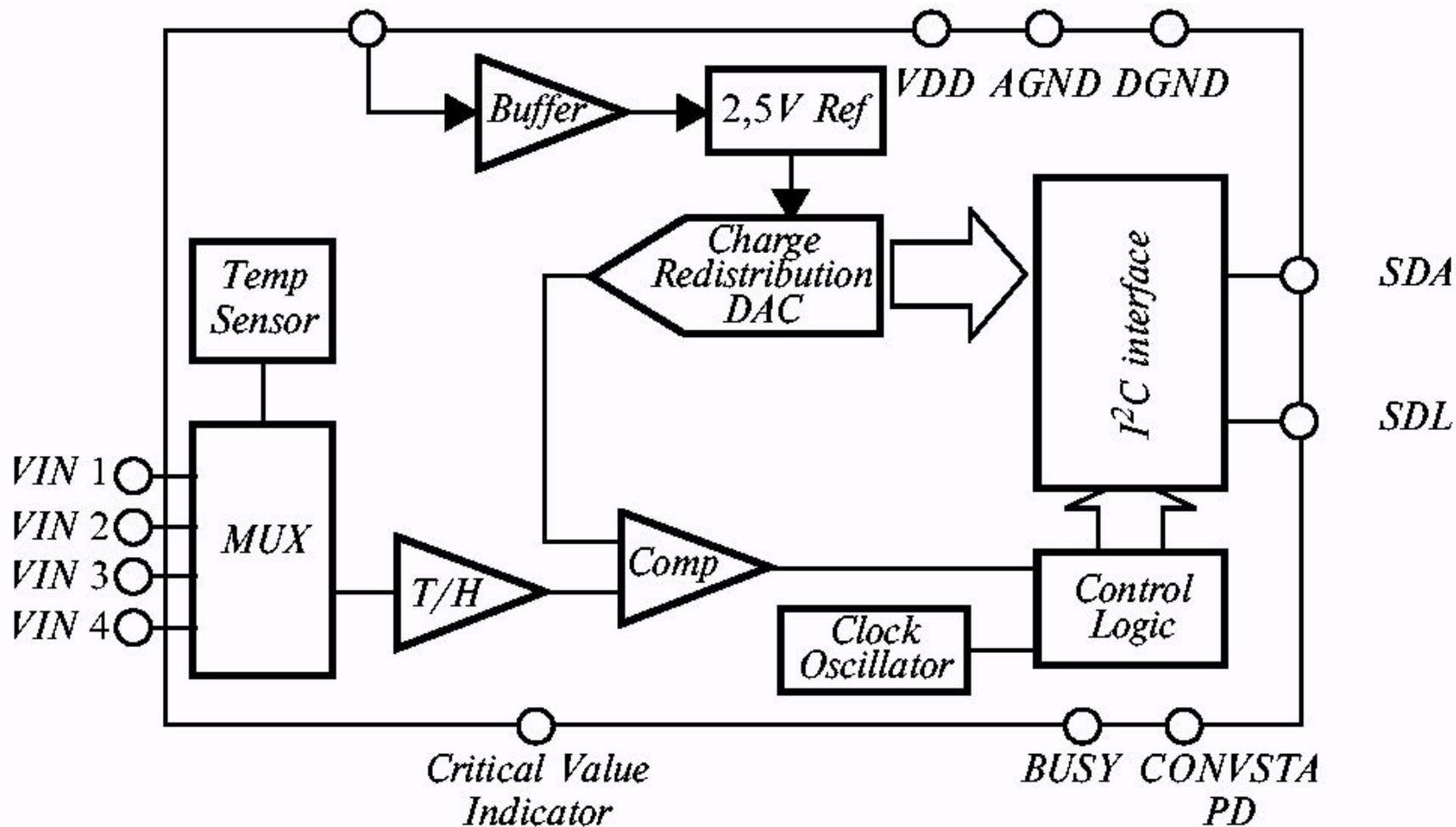
# Цифровые датчики температуры и их применение

- ◆ Все многообразие микросхем этого семейства строится на использовании дополнительных внешних аналоговых входов, быстродействия АЦП, типа интерфейса и потребляемой мощности.

*Структурная схема семейства цифровых датчиков температуры фирмы Analog Devices - датчика AD7418.*

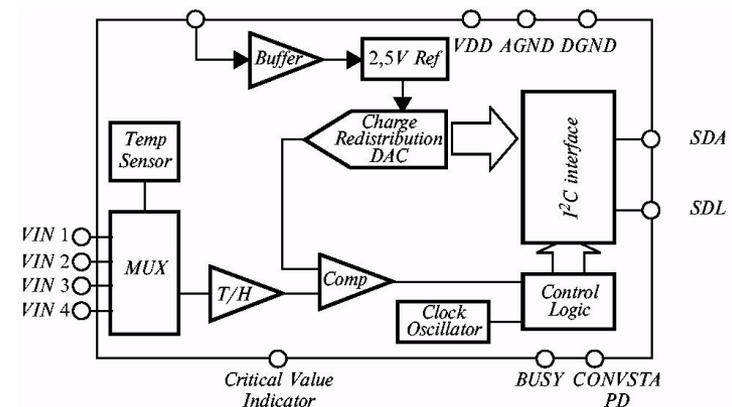


# Цифровые датчики температуры и их применение

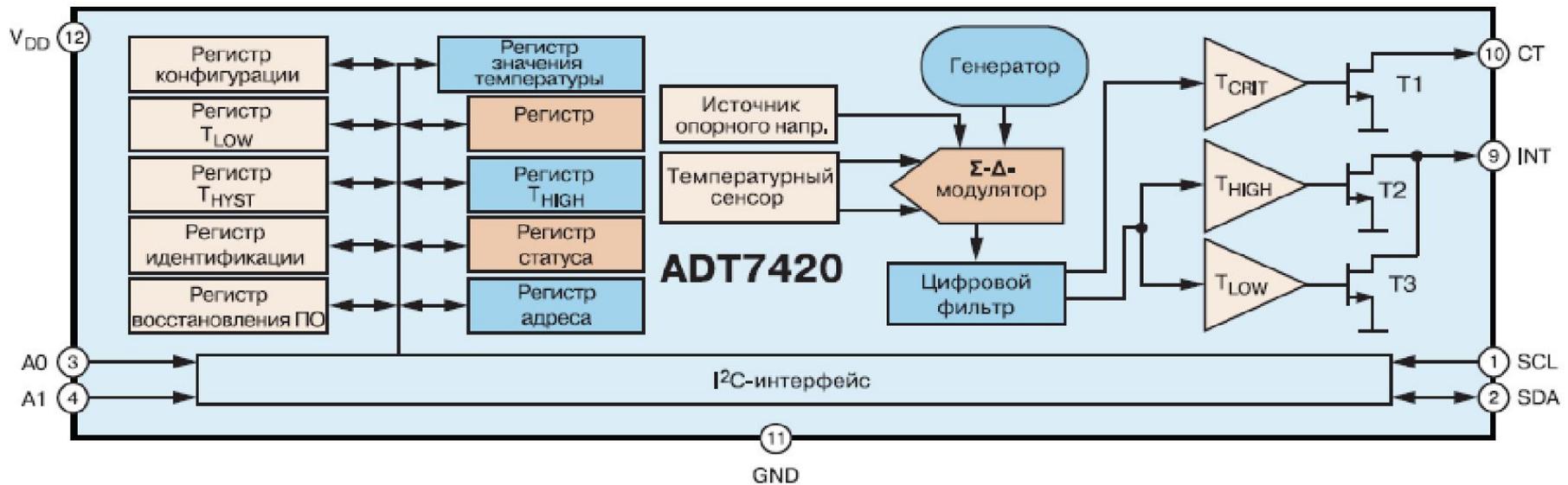


# Цифровые датчики температуры и их применение

- ◆ Temp Sensor — температурный датчик;
- ◆ MUX — мультиплексор аналоговых входов (VIN1—VIN4);
- ◆ T/H — устройство выборки и хранения;
- ◆ Comp — компаратор;
- ◆ Clock Oscillator — синхогенератор;
- ◆ Control Logic — управляющая логика;
- ◆ DAC — цифро-аналоговый преобразователь;
- ◆ 2.5Vref— источник опорного напряжения на 2,5 В;
- ◆ Buffer— буферный усилитель;
- ◆ I<sup>2</sup>C interface — схема 2-проводного интерфейса с сигналами SDA, SDL



# Функциональная схема датчика температуры ADT7420 с интерфейсом I2C



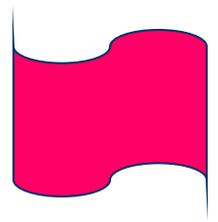
- ◆ погрешность:
  - $\pm 0.20\text{ }^{\circ}\text{C}$  в диапазоне  $-10\dots 85\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
  - $\pm 0.25\text{ }^{\circ}\text{C}$  в диапазоне  $-20\dots 105\text{ }^{\circ}\text{C}$
- ◆ число разрядов выходного кода – 16
- ◆ разрешающая способность  $0.0078\text{ }^{\circ}\text{C}$
- ◆ сверхнизкий температурный дрейф – не более  $0.0073\text{ }^{\circ}\text{C}$

- широкий диапазон измеряемых температур:  $-40\dots 150\text{ }^{\circ}\text{C}$
- диапазон напряжения питания  $2.7\dots 5.5\text{ В}$
- автоматическое прерывание при перегреве или переохлаждении
- автоматическая калибровка и коррекция показаний датчика
- потребляемая мощность  $700\text{ мкВт}$  при  $U_{\text{пит}} = 3.3\text{ В}$  в нормальном режиме работы,



# Цифровые датчики температуры и их применение

- ◆ Цифровые датчики температуры фирмы *Microchip Technology* появились сравнительно недавно, но уже заняли достойное место благодаря своим высоким точностным характеристикам и, самое главное, малой потребляемой мощности — здесь они рекордсмены.
- ◆ Фирма *National Semiconductors* одна из первых объявила о выпуске цифровых датчиков температуры и является до сих пор в некотором смысле законодателем моды в этой области.
- ◆ Не случайно такая фирма как *Analog Devices* предлагает на рынок датчик AD7416 как замену классического датчика LM75 фирмы National Semiconductors.

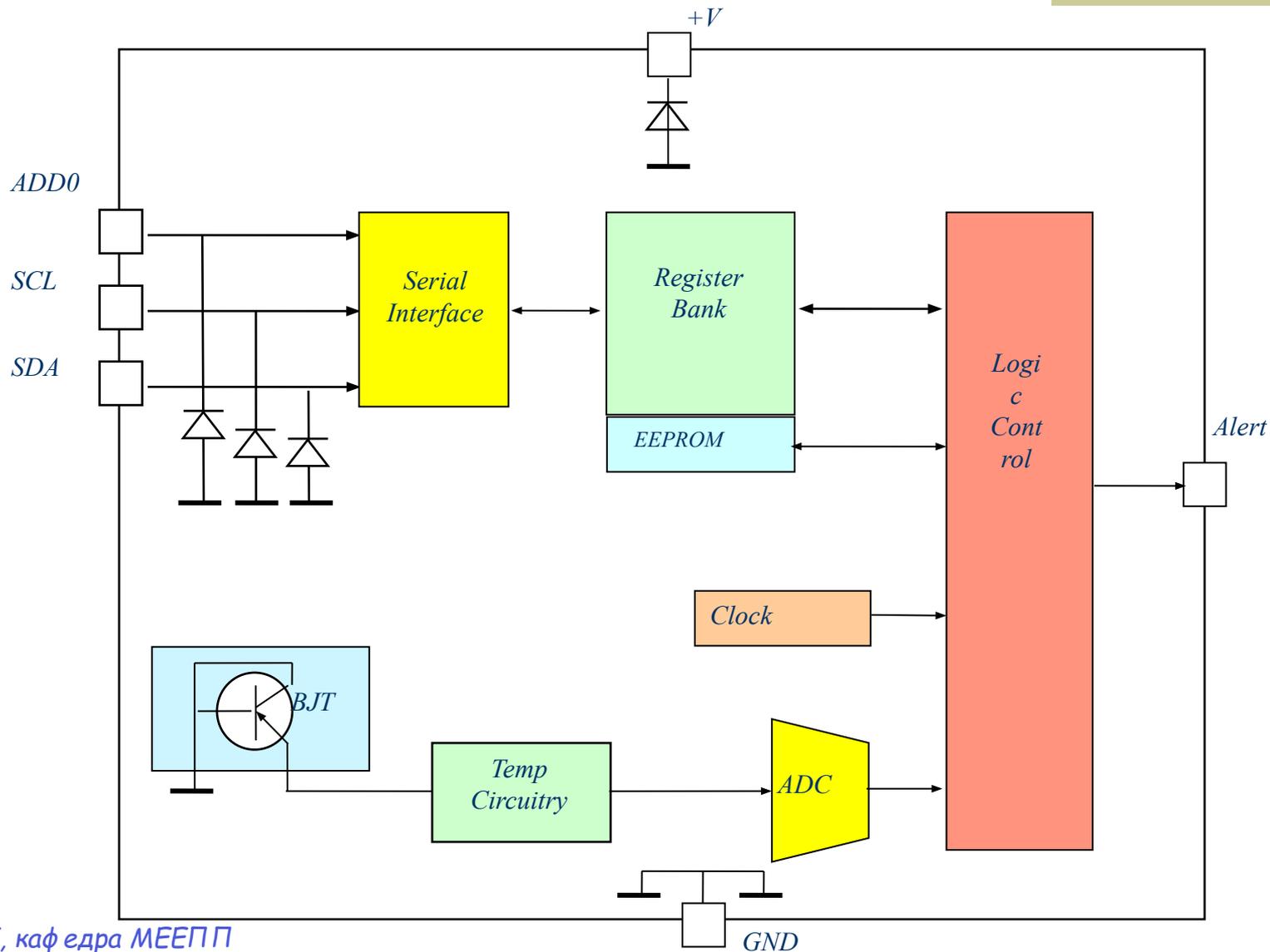


# Цифровые датчики температуры и их применение

- ◆ *Что же касается фирмы MAXIM, ставшей владелицей Dallas Semiconductor, то в номенклатуре ее изделий и значится множество разных цифровых датчиков температуры для расширенного диапазона температур (до 150 °C).*
- ◆ *При этом датчики MAX 6629 и 6632 при времени преобразования 8 с потребляют всего 32 мкА, а датчики MAX 6630 и 6631 при времени преобразования 0,5 с — 200 мкА.*
- ◆ *И, главное, при температуре 150°C типичная погрешность составляет 1,5°C.....*



# Функціональна схема цифрового інтегрального сенсора температури TMP117



# Функціональна схема цифрового інтегрального сенсора температури TMP117

- ◆ TMP117 забезпечує 16-біт температурний результат з роздільною здатністю  $0,0078^{\circ}\text{C}$  і точність до  $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$  по всій температурі діапазон від  $-20^{\circ}\text{C}$  до  $50^{\circ}\text{C}$  без калібрування.
- ◆ TMP117 має інтерфейс, який є I2C- і SMBus™ - сумісні, програмовані функції оповіщення та пристрій може підтримувати до чотирьох пристроїв на одному автобусі.
- ◆ Для пристрою включений інтегрований EEPROM програмування з додатковою 48-бітною пам'яттю доступний для загального користування.
- ◆ Низьке енергоспоживання TMP117 мінімізує вплив самонагрівання на вимірювання точність. TMP117 працює від 1,8 В до 5,5 В і зазвичай споживає 3,5 мкА.
- ◆ Для немедичних застосувань TMP117 може служити одно кристальною цифровою альтернативою для Platinum RTD. TMP117 має точність, порівнянну з класом AA RTD, використовуючи меншу потужність, ніж RT100 RTD.
- ◆ TMP117 спрощує проектні задачі за рахунок зменшення вимог до розробки, таких як стабільність живлення, вимог до трас з'єднань, схем узгодження сигналу і калібрування.



# Литература

- ◆ 1. Benedict, R. P. Fundamentals of Temperature, Pressure, and Flow Measurements, 3rd ed. John Wiley & Sons, New York, 1984.
- ◆ 2. Plandts, L. Essentials of Fluid Dynamics. Hafner, New York, 1952.
- ◆ 3. Di Giovanni, M. Flat and Corrugate Diaphragm Design Handbook. Marcel Dekker. New York, 1982.
- ◆ 4. Neubert, H. K. P. Instrument Transducers. An Introduction to Their Performance and Design, 2nd ed.. Clarendon Press, Oxford, 1975.
- ◆ 5. Clark, S. K. and Wise, K. D. Pressure sensitivity in anisotropically etched thin-diaphragm pressure sensor. IEEE Trans. Electron Dev., ED-26,1887-1896,1979.

