



Получено: 16.03.2023 г. | Принято: 20.03.2023 г. | DOI: <https://doi.org/10.22184/1993-8578.2023.16.2.140.143>

Научная статья

ПЕРИФЕРИЙНЫЕ ДАТЧИКИ ДЛЯ СКАНИРУЮЩЕЙ ЗОНДОВОЙ МИКРОСКОПИИ

А.Д.Терентьев^{1,2}, магистр, программист, ORCID: 0009-0009-1528-5284

И.В.Яминский^{1,2}, д.ф.-м.н., профессор МГУ имени М.В.Ломоносова, генеральный директор Центра перспективных технологий, ORCID: 0000-0001-8731-3947 / yaminsky@nanoscopy.ru

Аннотация. Сканирующая зондовая микроскопия дает информацию об изучаемых объектах с точностью до десятых и сотых долей нанометра при временном разрешении в миллисекунды и выше. Оснащение зондового микроскопа дополнительными периферийными датчиками для измерения температуры и влажности является полезной опцией. При изучении живых клеток необходимо контролировать и поддерживать концентрацию углекислого газа. Для этого необходимы компактные и удобные датчики углекислого газа с соответствующим программным интерфейсом, ориентированным на пользователя. При контролируемом перемещении образца, особенно при использовании больших полей обзора, важными аксессуарами становятся концевые датчики. Они позволят не выходить за рамки выбранной области исследования объекта наблюдения. В настоящей статье описано простое решение по эффективному использованию датчиков температуры, влажности, концентрации CO₂ и перемещений.

Ключевые слова: физика живых систем, сканирующая зондовая микроскопия, бионаноскопия, приборостроение, температура, влажность, углекислый газ

Для цитирования: А.Д. Терентьев, И.В. Яминский. Периферийные датчики для сканирующей зондовой микроскопии. НАНОИНДУСТРИЯ. 2023. Т. 16, № 2. С. 140–143. <https://doi.org/10.22184/1993-8578.2023.16.2.140.143>.

Received: 16.03.2023 | Accepted: 20.03.2023 | DOI: <https://doi.org/10.22184/1993-8578.2023.16.2.140.143>

Original paper

PERIPHERAL SENSORS FOR SCANNING PROBE MICROSCOPY

A.D.Terentev^{1,2}, Master, Programmer, ORCID: 0009-0009-1528-5284

I.V.Yaminsky^{1,2}, Doct. of Sci. (Physics and Mathematics), Prof., General Director of Advanced Technologies Center, ORCID: 0000-0001-8731-3947 / yaminsky@nanoscopy.ru

Abstract. Scanning probe microscopy provides information about the studied objects with an accuracy of tenths and hundredths of a nanometer with a time resolution of milliseconds and higher. Equipping the probe microscope with additional peripheral sensors for measuring temperature and humidity is a useful option. When studying living cells, it is necessary to control and maintain the concentration of carbon dioxide. This requires compact and user-friendly carbon dioxide sensors with an appropriate user-oriented software interface. If sample movements are controlled, especially when using large fields of view, limit sensors become important accessories. They will allow not going beyond the selected area of study of the observed object. This paper describes a simple solution for the efficient use of sensors that measure temperature, humidity, CO₂ concentration and movement.

¹ МГУ имени М.В.Ломоносова, физический и химический факультеты, Москва, Россия / Lomonosov Moscow State University, Physical and Chemical departments, Moscow, Russia

² ООО НПП "Центр перспективных технологий", Москва, Россия / Advanced Technologies Center, Moscow, Russia



Keywords: physics of living systems, scanning probe microscopy, bionanoscopia, instrumentation, temperature, humidity, carbon dioxide

For citation: A.D. Terentev, I.V. Yaminsky. Peripheral sensors for scanning probe microscopy. NANOINDUSTRY. 2023. V. 16, no. 2. PP. 140–143. <https://doi.org/10.22184/1993-8578.2023.16.2.140.143>.

ВВЕДЕНИЕ

Для изучения биологических систем с помощью методов сканирующей зондовой микроскопии требуется хорошо контролировать условия проведения эксперимента: температуру и влажность окружающей атмосферы, концентрацию различных газов и т.п [1, 2]. К примеру, для изучения живых клеток необходимо создать внутри бокса с изучаемым материалом атмосферу с 5%-ной концентрацией CO₂ и температурой 36 °С. Специально для этого была разработана программа для мониторинга данных условий с использованием микроконтроллера в качестве управляющего элемента и периферии высокочувствительных датчиков.

АППАРАТНОЕ И ПРОГРАММНОЕ РЕШЕНИЯ

В качестве основы было решено использовать плату Arduino. Во-первых, она достаточно легко программируется и, во-вторых, позволяет без лишней обвязки подключить к микроконтроллеру множество управляемых устройств. Так как многие датчики работают с 3,3-В аппаратной логикой, выбор пал на Arduino MKR Zero. В данной плате установлен микроконтроллер фирмы Microchip (Atmel) ATSAMD21G1 с вычислительным ядром ARM Cortex M0. Ядро является 32-разрядным, что позволяет выполнять вычисления с четырехбайтовыми данными всего за один такт. В совокупности с относительно высокой тактовой частотой (48 МГц) и большими объемами Flash- и SRAM-памяти (256 Кб и 32 Кб соответственно) данный микроконтроллер является мощным вычислительным инструментом и способен быстро принимать входящие данные, легко их обрабатывать и оперативно передавать следующему устройству. Кроме того, общение с управляемыми (например, датчиками) и управляющим (например, компьютером) устройствами осуществляется на данной плате с использованием следующих интерфейсов: UART/Serial, I2C, SPI. Все это делает плату Arduino MKR Zero наиболее предпочтительной и актуальной для решения возложенной на нее задачи – осуществления точного контроля условий проведения эксперимента в реальном времени.

INTRODUCTION

To study biological systems using scanning probe microscopy one needs to control the experimental conditions: temperature and humidity of the environment, concentration of different gases [1, 2], etc. For example, to study living cells it is necessary to create an atmosphere with 5% concentration of CO₂ and temperature 36 °C inside the box with the studied material. Especially for this purpose, a program was developed to monitor these conditions using a microcontroller as the control element and periphery of highly sensitive sensors.

HARDWARE AND SOFTWARE SOLUTIONS

The Arduino board was chosen as the basis of control unit. Firstly, it is easy enough to program and secondly, it allows easily enough to connect many controllable devices to a microcontroller without extra wrapping. Since many sensors work with 3.3 V hardware logic, Arduino MKR Zero was chosen. This board contains a Microchip (Atmel) ATSAMD21G1 microcontroller with an ARM Cortex M0 processing core. The core is 32-bit, which enables to perform calculations of four-byte data in just one clock cycle. Together with the relatively high clock frequency (48 MHz) and the large Flash and SRAM memory (256KB and 32KB, respectively), this microcontroller is a powerful computing tool and is able to receive incoming data quickly, process them easily and transmit them promptly to the next device. Furthermore, communication with controlled (e.g. sensors) and controlling (e.g. computer) devices on this board is done using the following interfaces: UART/Serial, I2C, and SPI. All this makes the Arduino MKR Zero the preferred and most relevant board for the task assigned to it – performing accurate real-time control of the experiment conditions.

A DHT22 sensor is used as a temperature and humidity sensor. This sensor supports 3.3 V logic and measures humidity in the range 0–100% with a resolution of 0.1% and an accuracy of ± 2% and temperature in the range –40–80 °C with a resolution of 0.1 °C and an accuracy of ±0.5 °C. The period between sensor measurements is 2 seconds. The sensor may be connected to any digital pin of the board. The values are read out using the DHT sensor library.

Two sensors are used to measure carbon dioxide concentration, one inside the system and one outside. The external sensor controls permissible CO₂ concentration

В качестве датчика температуры и влажности используется датчик модели DHT22. Данный датчик поддерживает 3,3-В логику и позволяет измерять влажность в диапазоне 0–100% с разрешением 0,1% и точностью $\pm 2\%$ и температуру в диапазоне -40 – 80 °C с разрешением 0,1 °C и точностью ± 0.5 °C. Период между измерениями датчика составляет 2 с. Подключается датчик в любой цифровой пин платы. Считывание значений производится с использованием библиотеки DHT sensor library.

Для измерения концентрации углекислого газа применяются два датчика: один из них находится внутри системы, другой – снаружи. Наружный датчик необходим для контроля допустимого уровня концентрации CO₂ возле экспериментатора, чтобы предупредить неожиданную утечку газа из бокса, поскольку повышенная концентрация углекислого газа в атмосфере способна нанести серьезный вред здоровью человека. Для этой цели был выбран датчик углекислого газа модели MH-Z19c фирмы Winsen. Диапазон измерений – от 0 до 5000 ppm с точностью ± 50 ppm + 5% от считываемого значения. Диапазон не очень широкий, всего 0,5%, но его вполне достаточно.

Второй датчик той же фирмы модели MH-410D является промышленным и предоставляет диапазон измерений уже от 0 до 5% при той же точности. Именно он будет находиться внутри исследуемой системы. Оба датчика требуют питания напряжением в 5 В и поддерживают 3,3-В логику общения с платой. Кроме того, показания с обоих датчиков могут сниматься как ШИМ-сигнал с пина Vout, так и по интерфейсу UART при подключении к пинам RX и TX. Поскольку плата Arduino MKR Zero поддерживает всего один дополнительный канал Serial (основной используется для общения платы с компьютером), то в реализованной нами системе с внутреннего датчика считывался ШИМ-сигнал, а наружный был подключен к каналу Serial. Для обработки сигналов были разработаны собственные библиотеки MHZ419C и MH410D.

Также в рамках данной системы осуществляется контроль управления прецизионной системой перемещения образца при помощи оптических концевых датчиков.

Написанная для Arduino программа осуществляет считывание и обработку сигналов датчиков и дальнейшую их отправку на компьютер. Для отображения параметров на компьютере был разработан специальный плагин (рис.1)

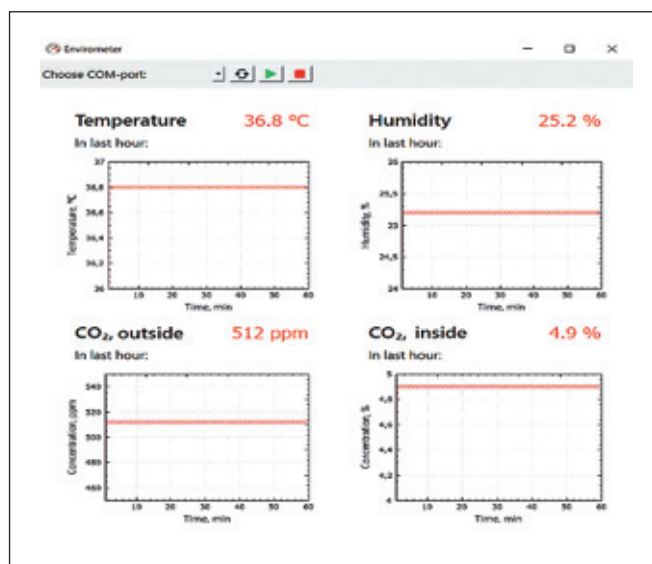


Рис.1. Интерфейс окна управляющей программы. Среди показателей: температура, влажность, уровень CO₂ снаружи и внутри камеры

Fig.1. The control program window interface. Among the indicators: temperature, humidity, CO₂ levels outside and inside camera

near the experimenter in order to prevent unexpected leakage of gas from the box, as an increased concentration of carbon dioxide in the atmosphere can cause serious harm to human health. For this purpose a Winsen carbon dioxide sensor, model MH-Z19c, was applied. The measuring range is 0 to 5000 ppm with an accuracy of ± 50 ppm + 5% of the measured value. The range is not very wide, only 0.5%, but it is sufficient.

The second sensor from the same company, model MH-410D, is an industrial sensor and provides a measuring range of 0 to 5% with the same accuracy. This is the sensor that will be located inside the system under investigation. Both sensors require a 5 V supply and support 3.3 V logic to communicate with the board. In addition, readings from both sensors can be taken as a PWM signal from the Vout pin, or via the UART interface when connected to the RX and TX pins. Since the Arduino MKR Zero board supports only one additional Serial channel (the main channel is used for communication between the board and computer), in the system we implemented, the PWM signal was read from the internal sensor, while the external sensor was connected to the Serial channel.

MHZ419C and MH410D proprietary libraries were developed to process signals.

Also, within the framework of this system, the control of the precision sample movement system is controlled using optical limit sensors. The program written for the Arduino reads and processes sensor signals and then sends them to the computer. To display the parameters on the computer, a special plug-in has



с использованием фреймворка Qt на языке C++. С помощью плагина выполняется соединение с платой по интерфейсу UART и отображение данных в виде графиков величин (температуры, влажности, концентрации углекислого газа внутри и снаружи изучаемой системы) от времени.

ВЫВОДЫ

Для прецизионной системы перемещения образца по координатам X и Y было разработано программное обеспечение, позволяющее проводить считывание сигналов с концевых датчиков и осуществлять управление шаговыми двигателями. Кроме того, с помощью программного обеспечения можно контролировать перемещение образца в диапазоне 0–12 мм с точностью до единиц микрона (рис.2).

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда содействия инновациям, проект № 71108, договор 0071108. Авторы благодарны компании ООО "Эндор" (Москва) за содействие в выполнении работы.

ИНФОРМАЦИЯ О РЕЦЕНЗИРОВАНИИ

Редакция благодарит анонимного рецензента (рецензентов) за их вклад в рецензирование этой работы, а также за размещение статей на сайте журнала и передачу их в электронном виде в НЭБ eLIBRARY.RU.

Декларация о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов или личных отношений, которые могли бы повлиять на работу, представленную в данной статье.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Sovetnikov T.O., Akhmetova A.I., Gukasov V.M., Evtushenko G.S., Rybakov Yu.L., Yaminskii I.V. Scanning probe microscopy in assessing blood cells roughness. *Bio-Medical Engineering*, 2023. <http://dx.doi.org/10.1007/s10527-023-10253-3>
2. Akhmetova A.I., Sovetnikov T.O., Tikhomirova M.A., Gukasov V.M., Rybakov Yu.L., Shimanovskii N.L., Yaminsky I.V. Scanning capillary microscopy in the study of the effect of cytotoxic agents on the biomechanical and physicochemical properties of tumor cells. *Pharmaceutical Chemistry Journal*, 2022. <http://dx.doi.org/10.1007/s11094-022-02770-4>

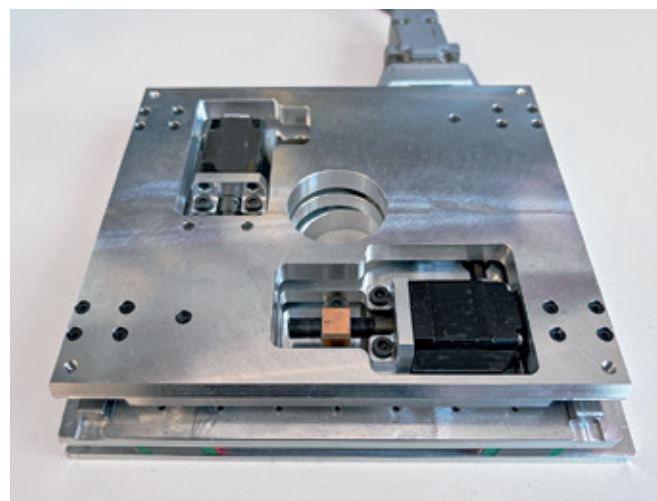


Рис.2. Система прецизионного перемещения образца по координатам XY

Fig.2. XY-coordinate precision sample movement system

been developed (Fig.1) using the Qt C++ framework. The plug-in is used to connect to the board via UART interface and displaying data in the form of graphs of values (temperature, humidity, carbon dioxide concentration inside and outside the system under study) are plotted vs time.

CONCLUSIONS

Software has been developed for operating of precision X- and Y-coordinate sample movement system, which allows reading signals from the limit sensors and the control of stepper motors. In addition, this software can be used to control the movement of the sample from 0–12 mm with an accuracy of a few microns (Fig.2).

ACKNOWLEDGMENTS

The study was completed with the financial support of the Foundation for Assistance to Innovations, project No. 71108, contract 0071108. The authors are grateful to Endor LLC, Moscow for their substantial support in this work.

PEER REVIEW INFO

Editorial board thanks the anonymous reviewer(s) for their contribution to the peer review of this work. It is also grateful for their consent to publish papers on the journal's website and SEL eLibrary eLIBRARY.RU.

Declaration of Competing Interest. The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.