

# Особливості застосування теплових сенсорів потоку загального та біомедичного призначення

<sup>1</sup>Голяка Роман, <sup>2</sup>Вальдемар Вуйцик, <sup>3</sup>Павлов Сергій, <sup>4</sup>Карнакова Гайни Жарасхановна, <sup>3</sup>Куленко Сергій  
<sup>1</sup>Національний університет «Львівська Політехніка»,  
<sup>2</sup>Технический университет «Люблинская политехника», Польша, Люблин,  
<sup>3</sup>Вінницький національний технічний університет  
<sup>4</sup>Таразский государственный университет имени М.Х.Дулати, Казахстан, Тараз,  
 e-mail: gaini.karnakova@mail.ru

## Features of the application of thermal flow sensors of general and biomedical purposes

<sup>1</sup>Golyaka Roman, <sup>2</sup>Wójcik, Waldemar, <sup>3</sup>Pavlov Sergii, <sup>4</sup>Karnakova Gaini, <sup>3</sup>Kulenko Sergii  
<sup>1</sup>National University «Lvivska Politechnika»,  
<sup>2</sup>National University «Lubelska Politechnika», Poland, Lublin,  
<sup>3</sup>Vinnitsia National Technical University  
<sup>4</sup>M.Kh.Dulaty Taraz State University, Kazakhstan, Taraz,  
 e-mail: gaini.karnakova@mail.ru

**Анотація.** В статті розглянуто особливості озробки нового покоління інтегральних сигнальних перетворювачів для мікроелектронних теплових сенсорів потоку. В процесі розробки сенсорних пристроїв вимірювання швидкості потоку повинні враховуватися всі вимоги щодо їх відповідності сучасним напрямкам розвитку мікроелектронних сенсорів, зокрема, інтерфейсна сумісність, можливість програмного керування процесом вимірювання, розширені функціональні можливості.

**Abstract.** The article deals with the features of the new generation of integrated signal converters for microelectronic thermal flow sensors. In the process of developing sensor flow measurement devices, all requirements regarding their compliance with modern directions of development of microelectronic sensors, in particular, interfacial compatibility, the possibility of programmed control of the measurement process, extended functionality, should be taken into account.

**Ключові слова** — теплові сенсори потоку, інтелектуальні сенсори, MEMS технологія  
**Keywords**— thermal flow sensors, intelligent sensors, MEMS technology

**Актуальність** проблеми розробки нового покоління інтегральних сигнальних перетворювачів для мікроелектронних теплових сенсорів потоку обумовлена декількома факторами. По-перше, структурно-схемні рішення, що застосовуються в традиційних сигнальних перетворювачах, зокрема, для вимірювальних кіл терморезистивного типу, не забезпечують вимог щодо мінімізації енерговитрат мікроелектронних теплових сенсорів потоку. По-друге, з переходом на низьковольтні джерела живлення, набуває особливої важливості

мінімізація паразитного впливу на результат вимірювання опорів лнії передач сигналу. По-третє, в процесі розробки сенсорних пристроїв вимірювання швидкості потоку повинні враховуватися всі вимоги щодо їх відповідності сучасним напрямкам розвитку мікроелектронних сенсорів, зокрема, інтерфейсна сумісність, можливість програмного керування процесом вимірювання, розширені функціональні можливості, відповідність стандарту до інтелектуальних сенсорів IEEE1451.2 Intelligent Sensors, відповідність вимогам до техніки біомедичного призначення тощо.

### Аналіз стану розвитку теплових сенсорів потоку загального та біомедичного призначення

Тепловий сенсор потоку (термоанемометр, thermal flow sensors, hot-wire anemometer) – це пристрій вимірювання швидкості потоку рідини чи газу, який базується на принципі вимірювання температурного поля локально нагрітої речовини потоку [1-3].

Розрізняють декілька базових методів формування сигналу обумовленого швидкістю потоку. В самому простому методі вимірюють температуру розміщеного в потоці нагрівника – із збільшенням швидкості потоку внаслідок тепловіддачі температура нагрівника зменшується. Більш прогресивні методи передбачають локальний нагрів середовища потоку та вимірювання різниці температур в потоці в областях до (S1) та після (S2) нагрівача (heater) в напрямку поширення потоку (рис. 1). Це дозволяє, по-перше, вимірювати не лише швидкість потоку, але і його напрям, і, по-друге, мінімізувати вплив на результат вимірювання температури речовини потоку

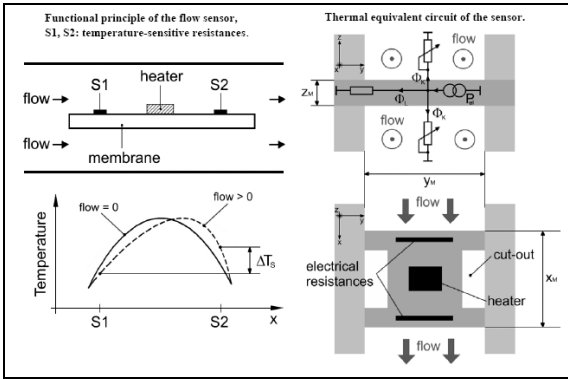


Рис. 1. Структура та функціональний принцип роботи мікроелектронних теплових сенсорів потоку

Розрізняють статичні та динамічні (часозалежні генераційні вимірювальні перетворювачі, Thermal Time-of-Flight Mode Transducers) схеми формування інформативного сигналу, зокрема як це показано на прикладі біомедичного теплового сенсора потоку з інтегрованим сигнальним перетворювачем (рис. 2) [1-6].

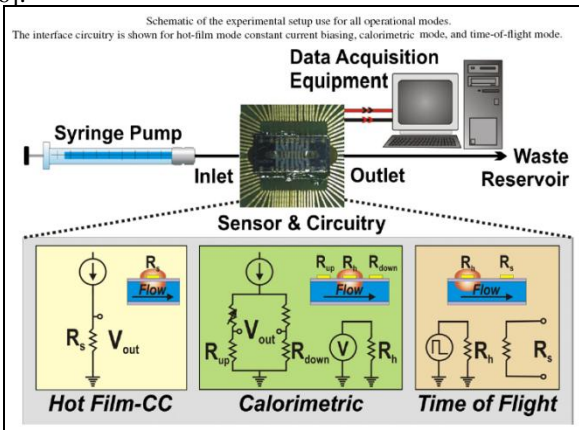
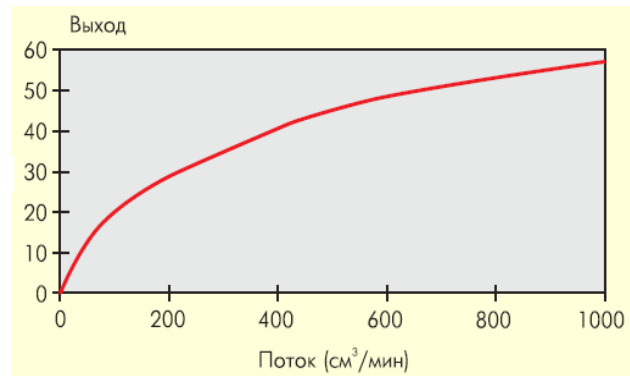
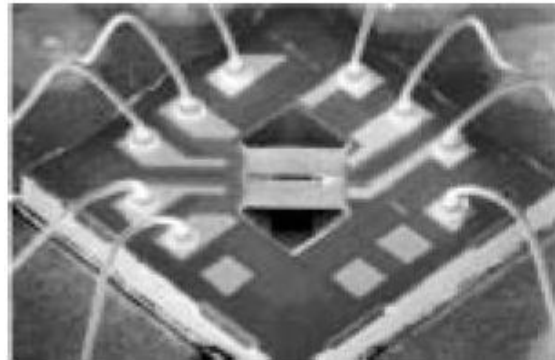


Рис. 2. Принципи формування сигналу в теплових сенсорах потоку

При необхідності вимірювати значні об'єми потоків в магістралі великого діаметру в останній формують байпасну (паралельно під'єднаній до основної магістралі) трубку невеликого діаметру, потік в якій є пропорційним до потоку в магістралі. Вимірюючи швидкість потоку лише в байпасній трубці та апроксимуючи отриманий результат вимірювання на швидкість потоку в основній магістралі, досягають зменшення енерговитрат на нагрів потоку та мінімізують температурний вплив теплового витратоміра на покій в цілому.

**Технологія виготовлення теплових сенсорів потоку.** В ряді функціонально-структурних рішень теплових сенсорів потоку їх сенсори різницевої температури поєднують з нагрівачами. В такому випадку сенсор потоку складається з двох функціонально інтегрованих елементів, кожний з яких нагрівається і, характеризуючись відомим значенням температурного коефіцієнту опору, забезпечує можливість формування сигналу про температуру.

Температура першого в напрямку поширення потоку функціонально інтегрованого елементу є меншою відносно другого, аналогічного за розмірами та енергією нагріву, елементу, що обумовлено теплопереносом між цими елементами середовищем потоку. Приклад реалізації мікроелектронного сенсора потоку на основі функціонально інтегрованих елементів терморезистивного типу, зокрема моделі AWM2100V світового лідера в галузі мікроелектронної сенсорної електроніки фірми Honeywell наведено на рис. 3 [1].



а) б)

Рис.3. Мікроелектронна MEMS структура (а) теплового сенсора потоку та його типова характеристика (б)

Зокрема, на рис. 4 наведено конструкцію та функціональну характеристику мікроелектронного сенсора потоку біомедичного призначення [2]. Сенсор виготовлено на основі LTCC (Low Temperature Coffered Ceramics) кераміки з використанням елементів товстоплівкової технології, що забезпечує біохімічну сумісність з досліджуваними рідинами.

Іншим характерним прикладом сенсора потоку біомедичного призначення є мікроелектронний модуль на основі біосумісної MEMS матриці [1]. Матриця сенсора реалізована на основі біосумісної парилінової мембрани (Parylene C Membrane) з платиновими сенсорними електродами. З метою покращення термічної ізоляції теплового сенсора потоку його мембрана „підвішена” над балочним мікромеханічним каналом, виготовленого з кремнію. Принцип функціонування та конструкція сенсора представлені на рис. 5, зовнішній вигляд сенсора

поток представлен на рис. 6. Широкий набор функциональных характеристик вказаного сенсора потоку в різноманітних режимах його роботи можна бачити на рис. 7 – 9.

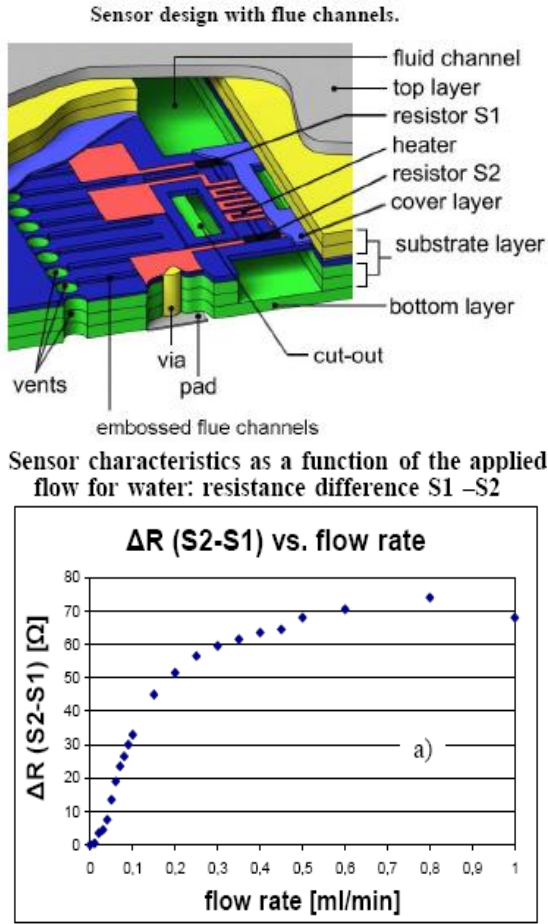


Рис.4. Конструкція (а) та функціональна характеристика (б) LTCC мікроелектронного сенсора

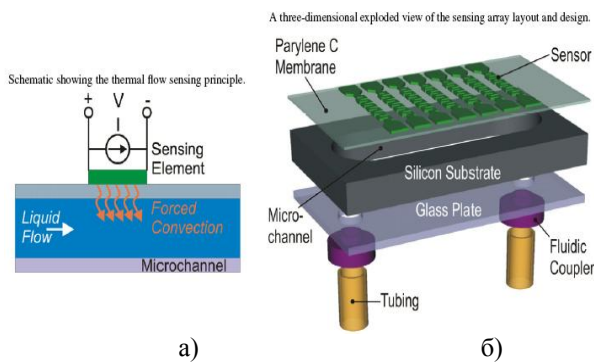


Рис.5. Принцип функціонування (а) та конструкція (б) мікроелектронного сенсора потоку біомедичного призначення на основі Parylene C Membrane [1]

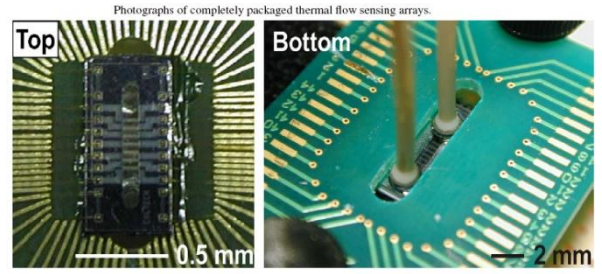
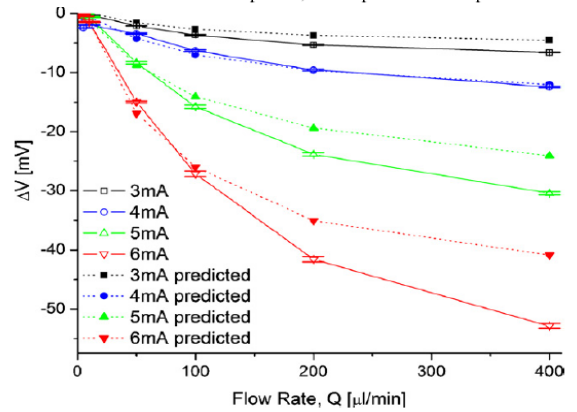


Рис.6.Зовнішній вигляд сенсора потоку [1,2,9]

Response of three sensors connected in series for constant current biasing and hot-film mode operation at four different overheat ratios and over the flow rate range of 0–400  $\mu\text{L}/\text{min}$  (mean  $\pm$  S.E. with  $n = 60$ ). The predicted response, or sum of the individual sensor responses, is also plotted for comparison.



Frequency response for constant current biasing with a sinusoidal input (mean  $\pm$  S.E. with  $n = 4$ ). The cutoff frequency is 890 Hz and after which the output drops off at 15 dB/decade.

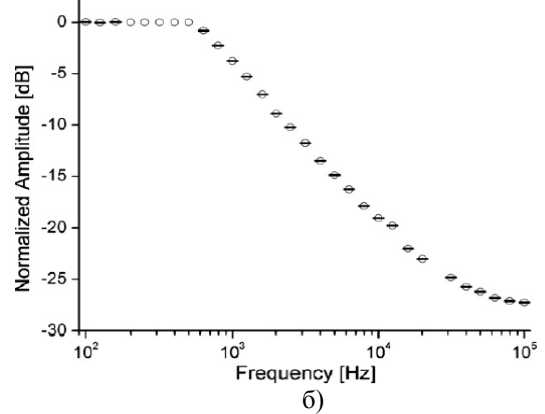


Рис.7. Функціональна (а) та частотна (б) характеристики сенсора потоку [1,9]

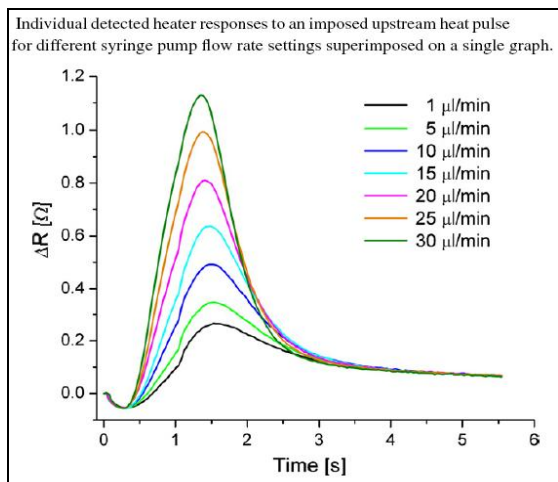
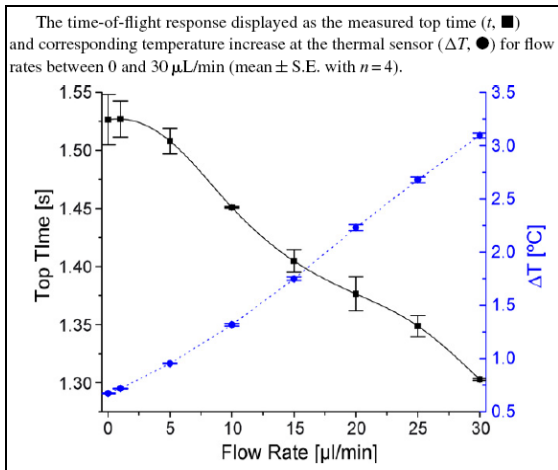


Рис.8. Часові функціональні характеристики сенсора потоку [1,9]

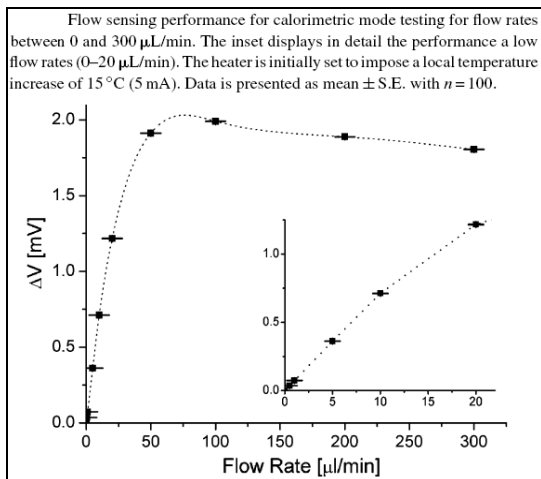


Рис.9. Функціональна характеристика сенсора потоку при великій та малій швидкості потоку [1,9]

**Висновок.** Аналіз характеристик розглянутих сенсорів дозволяє зробити ряд важливих з точки зору задач даної дисертаційної роботи висновків.

По-перше, сучасні мікроелектронні сенсори потоку, і зокрема сенсори біомедичного призначення, характеризуються значним

різноманіттям принципів формування сигналу – від елементарних лінійних перетворювачів на основі одного чутливого елементу і до нелінійних (генераційних, часозалежних) перетворювачів на основі матриць функціонально інтегрованих елементів.

По-друге, розширення діапазону вимірювання швидкості потоків має значну проблематику – характеристика перетворення сенсорів, що дозволяють вимірювати малі потоки, стає дуже нелінійною при збільшенні швидкості потоку.

По-третє, актуальною залишається проблема енергоспоживання теплових сенсорів потоку. Особливо це характерно при живленні сенсорів біомедичного призначення від автономних, тобто, малогабаритних малопотужних низьковольтних електрохімічних елементів. Адже нагрів речовини потоку в порівнянні з енергоспоживанням сучасних мікропотужних CMOS інтегральних схем вимагає суттєво більшої енергії

#### ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

1. Ellis Menga, Po-Ying Li, Yu-Chong Tai. A biocompatible Parylene thermal flow sensing array // *Sensors and Actuators A*. – 2008. № 144. – PP. 18–28.
2. Bartsch de Torres, C. Renschb, T. Thelemann, J. Müller, M. Hoffmann. Fully Integrated Bridge-type Anemometer in LTCC-based Microfluidic Systems *Advances // Science and Technology*. – 2008. Vol. 54. – PP. 401 - 404. Online at <http://www.scientific.net>.
3. Маргелов А. Датчики расхода газа компании Honeywell [Електронний ресурс] / А. Маргелов // *Chip News*. — 2005. — № 9 (102). — С.56—58. — Режим доступу до журн. [www.chip-news.ru](http://www.chip-news.ru).
4. N.-T. Nguyen, W. Dotzel. Asymmetrical locations of heaters and sensors relative to each other using heater arrays: a novel method for designing multi-range electrocaloric mass-flow sensors // *Sensors and Actuators: A Phys.* – 1997. Vol. 62. – PP. 506–512.
5. Куленко С.С. Контролер температурного режиму термоанемо-метричних сенсорів потоку / З.Ю. Готра, Р.Л. Голяка, С.С. Куленко, В.Е. Срашок // *Електроніка і зв'язь*. – 2009. – №2-3. – С.22-27.
6. Куленко С.С. Принципи електротеплового моделювання електронних схем з динамічним саморозігрівом елементів / З.Ю. Готра, Р.Л. Голяка, С.В. Павлов, С.С. Куленко // *Електроніка. Вісник Національного університету „Львівська політехніка”*. – 2009. – № 646. – С.57-65.
7. Куленко С.С. Мікроелектронні теплові сенсори потоку в біомедичних дослідженнях / З.Ю. Готра, Р.Л. Голяка, С.В. Павлов, С.С. Куленко // *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*. – 2008. – № 2. – С. 122 – 128.
8. Куленко С.С. Дифференціальний термометр с високої разрешающей способностью / З. Ю. Готра, Р. Л. Голяка, С.В. Павлов, С.С. Куленко, О.В. Манус // *Технология и конструирование в электронной аппаратуре*. – 2009. – № 6 (84). – С. 19 – 23.
9. Мікроелектронні сигнальні перетворювачі теплових сенсорів потоку : монографія / З. Ю. Готра , С. В. Павлов , Р. Л. Голяка та ін. – Вінниця : ВНТУ, 2012. – 240 с.