
СЕНСОРИ ФИЗИЧНИХ ВЕЛИЧИН

PHYSICAL SENSORS

УДК 681.586: 621.38.049.77.087.92

ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ МИКРОСЕНСОРОВ И МИКРОСИСТЕМНОЙ ТЕХНИКИ В ГНЦ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ НПК “ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ЦЕНТР” МИЭТ

Н. А. Шелепин

ГНЦ РФ ГУ НПК “Технологический центр” МИЭТ
Россия, 124498, Москва, Зеленоград, проезд 480б. д.5
тел. 5326165, ф. 9132192, e-mail: N.Shelepin@tcen.ru

Аннотация

ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ МИКРОСЕНСОРОВ И МИКРОСИСТЕМНОЙ ТЕХНИКИ В ГНЦ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ НПК “ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ЦЕНТР” МИЭТ

Н.А.Шелепин

Представлены основные направления и результаты разработок микросенсоров и микросистем Государственного научного центра Российской Федерации НПК “Технологический центр” МИЭТ. С использованием базовых технологических процессов и оборудования микроэлектронного производства разработана универсальная технология объемной микрообработки кремния и методы её интеграции с технологией аналого-цифровых ИС. Представлены основные характеристики и конструкции сенсоров механических величин: давления, ускорения, силы.

Ключевые слова: микросистемы, преобразователи физических величин, тензорезистор, акселерометр, микротермоанемометр

Анотація

ДОСЛІДЖЕННЯ І РОЗРОБКИ МІКРОСЕНСОРІВ І МІКРОСИСТЕМНОЇ ТЕХНІКИ В ГНЦ РОСІЙСЬКІЙ ФЕДЕРАЦІЇ НПК “ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ЦЕНТР” МИЭТ

М. А. Шелепін

Представлено основні напрямки і результати розробок микросенсоров і микросистем Державного наукового центра Російської Федерації НПК “Технологічний центр” МИЭТ. З використанням базових технологічних процесів і устаткування мікроелектронного виробництва розроблена універсальна технологія об’ємної мікрообробки кремнію і методи її інтеграції з технологією аналого-цифрових ІС. Представлено основні характеристики і конструкції сенсорів механічних величин: тиску, прискорення, сили.

Ключові слова: микросистеми, перетворювачі фізичних величин, тензорезистор, акселерометр, микротермоанемометр.

Abstract**RESEARCHES AND DEVELOPMENTS OF MICROSENSORS AND MICROSYSTEM ENGINEERING IN RUSSIAN FEDERATION SSC SIC “TECHNOLOGICAL CENTRE “ OF MIET***N. A. Shelepin*

The main trends and results of development of microsensors and Microsystems of the State scientific center of Russia Federation SMC “Technological Center” MIEE are present. With using of the base technological processes and equipment for Microelectronics production universal unique technology of the bulk micro processing and methods of it integration with digital analog technology IC was developed. The main characteristics and designs of the pressure, acceleration and force sensors are presented.

Keywords: microsystems, physical quantities converters, resistive-strain sensor, accelerometer, microthermoanemometer

1. Введение

В 1989 году в Научно-производственном комплексе “Технологический центр” (НПК ТЦ) запущен комплект оборудования для обработки кремниевых пластин диаметром 100 мм и изготовления фотошаблонов и в 1990 г. начато изготовление микросхем по технологии КМОП. С 1994 г. освоена технология объемной микрообработки кремния с целью изготовления интегральных преобразователей физических величин. В настоящее время исследования и разработки “НПК ТЦ” можно условно разделить на три основных направления: микроэлектроника, микросистемная техника, микроэлектронная аппаратура. Одним из разделов микросистемной техники (МСТ) считается создание чувствительных элементов (ЧЭ) различных датчиков. При этом новые, по сравнению с технологией БИС, процессы глубокого анизотропного травления и двухстороннего совмещения, были разработаны без приобретения специального технологического оборудования [1-3].

2. Интегральные преобразователи механических величин и датчики на их основе*2.1. Преобразователи давления*

Номенклатура и основные характеристики кристаллов — интегральных преобразователей давления представлены в таблице 1. Кристаллы ИПД-1 и ИПД-2 имеют плоскую квадратную мембрану. Задание соответствующих размеров и толщины мембраны в процессе из-

готовления обеспечивает возможность формирования преобразователей на различные диапазоны давления. Кристаллы ИПД-4 и ИПД-9 имеют мембрану с так называемым жестким центром и предназначены для прецизионных преобразователей на диапазоны малых давлений. В отличие от большинства аналогов преобразователи содержат в составе кристалла транзисторную схему температурной компенсации чувствительности (рис. 1), обеспечивающую при заданном напряжении питания получение указанных в таблице значений температурного коэффициента чувствительности (ТКЧ) при его значении непосредственно для тензорезисторов $-0,2\%/K$. Кристаллы поставляются различным организациям, которые владеют технологией изготовления датчиков на их основе.

Для организаций, имеющих сборочное и метрологическое оборудование производства датчиков давления, но не владеющих технологией, обеспечивающей механическую развязку кристаллов ИПД от металлических или пластмассовых корпусов, разработана технология соединения кристаллов с кремниевыми основаниями, которое осуществляется при помощи легкоплавких стекол при температуре около 500 °С. На основе таких чувствительных элементов разработан ряд модулей-преобразователей, обеспечивающих возможность их монтажа в корпуса без применения специальных технологий при сохранении высоких метрологических характеристик [4]. Данные модули применяются приборостроительными фирмами для изготовления различных датчиков давления, в том числе и преци-

зионных общепромышленного применения с классом точности 0,2% в диапазоне температур $-50...+70$ °С. Примером подобных датчиков являются ТЖИУ406Д (ВНИИ Автоматики, г. Москва). Одним из новых вариантов тензомодулей (рис. 2) является их конструктивное исполнение в доработанных корпусах

типа ТО-8 завода “Марс” (г. Торжок, Тверская обл.), которые представляют собой интегральные схемы — преобразователи давления, относящиеся к классу микросхем “Преобразователи физических величин и компоненты датчиков” в соответствии с ОСТ 11 073.915-2000.

Таблица 1

Основные характеристики интегральных преобразователей давления

Наименование характеристики	ИПД-1	ИПД-2	ИПД-4	ИПД-9
Габариты кристалла, мм	4×5.7×0.43	4×4×0.43	6.2×6.2×0.43	4×4×0.43
Диапазон измеряемых давлений ($P_{ном}$), МПа	0.1÷0.6	0.1÷25	0.01÷0.06	0.04÷25
Допустимое давление, МПа	5 $P_{ном}$	5 $P_{ном}$	5 $P_{ном}$	5 $P_{ном}$
Напряжение питания, В	5±0.3	5±0.3	5±0.3	5±0.3
Номинальный выходной сигнал ($U_{вых}$), мВ	50÷70	50÷70	20÷70	50÷100
Нелинейность выходного сигнала, %	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
Начальный разбаланс моста (U_0), % от выходного сигнала	±10	±10	±3	±3
Диапазон рабочих температур, °С	-50÷100	-50÷100	-50÷100	-50÷100
Температурный коэффициент чувствительности (ТКЧ), %/К	<0.03	<0.03	<0.03	<0.02
Температурный коэффициент «нуля» (ТКН), %/К	0.05	0.05	0.03	0.03

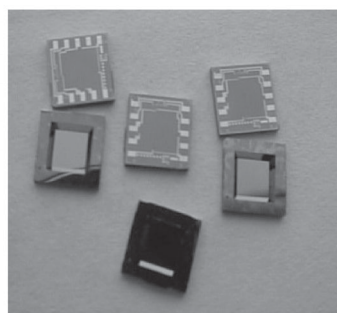
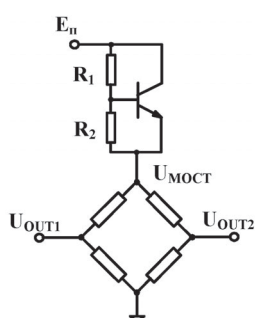


Рис. 1. Электрическая схема кристаллов — преобразователей давления и фотография кристаллов ИПД-2.

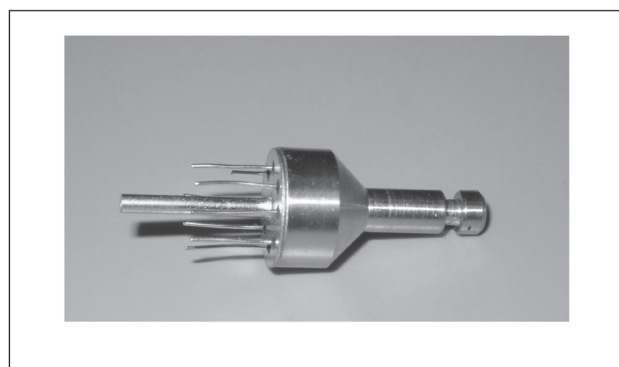


Рис. 2. Тензомодули ТДМ: интегральные микросхемы — преобразователи давления серий 1191 и 1192.

2.2. Интегральные балочные тензопреобразователи и датчики на их основе

Следующим примером объёмной микрообработки кремния является разработка двух типов балочных тензопреобразователей ТБК-6 и ТБК-5 (рис. 3). Технология их изготовления совпадает с технологией кристаллов ИПД за исключением дополнительных операций объёмной микрообработки боковых сторон концентраторов механических напряжений, которая в несколько раз повышает их прочность, и формирования припойных столбиков на контактных площадках. Последнее обеспечивает возможность непосредственной пайки изолированных проводов к кристаллам, что связано с особенностями их конструктивного использования в составе датчиков.

Преобразователи с двумя концентраторами напряжений используются, в основном, для изготовления датчиков силы [5]. ТБК-6 жестко заделывается в параллелограммное устройство, смещение оснований которого под воздействием внешней силы вызывает одинаковый по величине но различный по знаку изгиб концентраторов напряжения балочного тензопреобразователя, в каждом из которых рас-

положена пара резисторов мостовой схемы. Данная конструкция обеспечивает примерно в 20 раз более высокую чувствительность по сравнению с традиционной конструкцией датчиков силы на основе плёночных тензорезисторов при сохранении высокой линейности преобразования. На основе данных преобразователей в ЗАО “ИЦНТ” (Зеленоград) разработаны и выпускаются электронные бытовые безмены, адгезиметры и другие приборы.

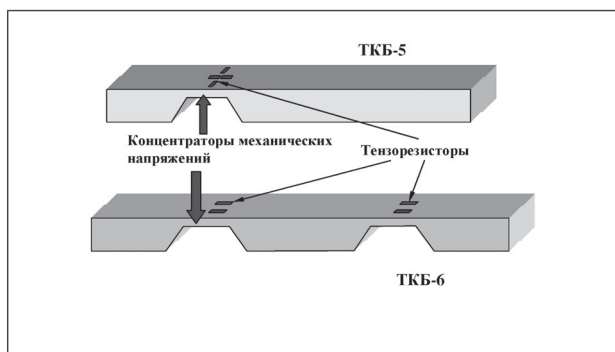


Рис. 3. Тензопреобразователи кремниевые балочные

Кроме того, следует отметить осуществленную в “НПК ТЦ” и ЗАО “ИЦНТ” разработку датчиков силы для лабораторных весов 4 класса ЭВИЦ (1200x0,1; 560x0,05 и 240x0,02 гс). Впервые в мире на полупроводниковых датчиках получены значения нелинейности и гистерезиса менее 0,03% при выходном сигнале 40 мВ.

Тензопреобразователь ТКБ-5 использован для разработки совместно с ЛИИ им. Громова (г. Жуковский, Московской обл.) серии акселерометров АВИ и МТА. Высокий показатель отношения поперечной чувствительности к основной (не более 3%) достигнут благодаря оригинальной конструкции, защищённой патентами [6].

3. Основные направления новых исследований и разработок

В настоящий момент большая часть разработок сосредоточена на создании технологий получения перспективной новой элементной базы МСТ.

Среди близких к практической реализации новых и модифицированных микромехани-

ческих электронных компонентов следует отметить следующие:

- кристаллы ИПД с уменьшенными размерами и/или повышенными метрологических характеристиками, особенно в области малых давлений;
- реализация тензоакселерометров на основе ТКБ-5 или их модификаций без дополнительной инерционной массы;
- создание тензомодулей давления с разделительной (металлической) мембраной, пригодных для измерения давления в химически агрессивных средах.

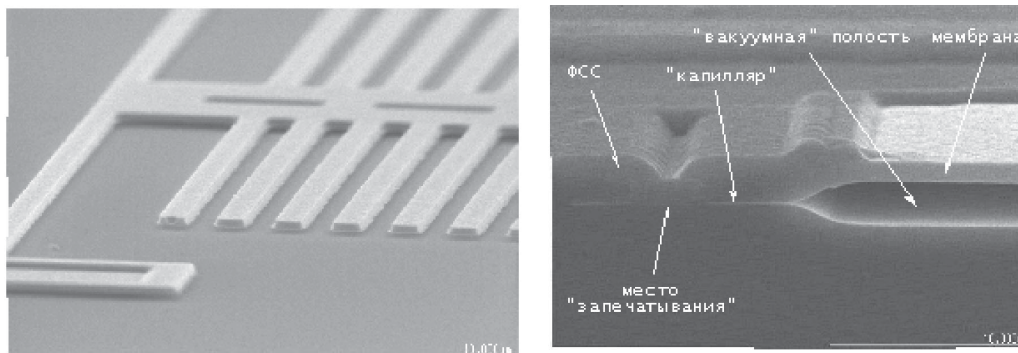
Основные направления перспективных разработок в области МСТ и ЧЭ ПФВ и КД:

- Интеграция объемной микрообработки и технологии БиКМОП БИС;
- Элементы поверхностной микромеханики;
- Интеграция объемной и поверхностной микрообработки кремния;
- Высокочувствительный микротермоанемометр;
- Элементы для химического, биохимического анализа и изготовления биочипов.

На рисунке 4 представлены фотографии, показывающие возможности получения микромеханических элементов из поликристаллического кремния на поверхности кремниевых пластин при использовании методов поверхностной микрообработки [7-8], а на рисунке 5 — фотография элементов микротермоанемометра.

4. Выводы

Представлены основные практические результаты исследований и разработок технологии кремниевых микроэлектромеханических систем на основе технологических процессов и оборудования для производства интегральных микросхем. Показана возможность получения высоких технических характеристик и организации серийного производства ряда преобразователей физических величин и компонентов датчиков для отечественных приборостроительных предприятий. Рассмотрены возможности и основные направления перспективных разработок в области микросистемной техники, осуществляемые в НПК “Технологический центр” МИЭТ.



Поликремниевые балки и консоли над поверхностью кристалла

Микрофотография структуры сенсора давления

Рис. 4. Поликремниевые элементы “поверхностной” микромеханики

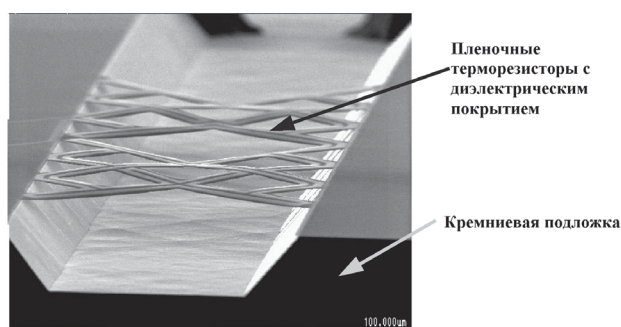


Рис. 5. Чувствительный элемент микротермоанемометра

Литература

1. *А.И.Галушков, В.Н.Зимин, Ю.А.Чаплыгин, Н.А.Шелепин.* Кремниевые интегральные датчики физических величин на основе технологии микроэлектроники // *Электронная промышленность.* — 1995. — N4-5. — С. 95-101.
2. *Шелепин Н.А.* Кремниевые преобразователи физических величин и компоненты датчиков. Датчики и микросистемы на их основе // *Микросистемная техника.* — 2002. — №9. — С. 2-10.
3. *V.D. Verner, A.N. Saourov, N.A. Shelepin.* *Universal Technology of Silicon Microsystems Fabrication* // *Proceedings of the IARP International Workshop in Moscow on Micro Robots Micro Machines and Micro Systems.* April 24-25, 2003, Moscow, Russia. — P. 143-148.
4. *Сауров А.Н., Зимин В.Н., Уманцев А.В., Шелепин Н.А.* Микродатчики давлений и микросистемы на их основе // *Датчики и системы.* — 1999 г. — №4. — С. 28-32.
5. *Е.В.Синицин, Н.А.Шелепин.* Высокоточные датчики силы на основе полупроводниковых интегральных микросенсоров // *Всероссийская конференция с международным участием “СЕНСОР-2000”, С.-Петербург, июнь 2000, тез. докл.,* С.60.
6. *Брехов Р.С. Шелепин Н.А.* Интегральный кремниевый тензоакселерометр // *Патент РФ №2072728 от 24.02.1994.*
7. *N.A.Shelepin, I.V.Godovitsin.* Fabrication of polysilicon suprasemicromachined structures using fab IC processes // *WORKSHOP PROCEEDINGS. 3rd NEXUSPAN Workshop on Microsystems in Environmental Monitoring 13-14 december 1996, UZKOE Hotel, Moscow, P. 83-88.*
8. *Годовицын И.В., Зимин В.Н., Петров А.Ю., Шелепин Н.А.* Сверхминиатюрный интегральный преобразователь давления для специальных применений // *Микросистемная техника.* — 2001. — №7. — С. 3-5.