



МИНИАТЮРНЫЙ ДВУХОСЕВОЙ МИКРОМЕХАНИЧЕСКИЙ АКСЕЛЕРОМЕТР В ОДНОКРИСТАЛЬНОМ ИСПОЛНЕНИИ С ДИАПАЗОНОМ ИЗМЕРЯЕМЫХ УСКОРЕНИЙ $\pm 10 \text{ M/S}^2$

MINIATURE TWO-AXIS SINGLE-CHIP MICROMECHANICAL ACCELEROMETER WITH MEASUREMENT RANGE OF $\pm 10 \text{ M/S}^2$

УДК 53.087.92

БАРАНОВ АЛЕКСАНДР АЛЕКСАНДРОВИЧ¹

BARANOV ALEXANDER A.¹

ЖУКОВА СВЕТЛАНА АЛЕКСАНДРОВНА¹

ZHUKOVA SVETLANA A.¹

ОБИЖАЕВ ДЕНИС ЮРЬЕВИЧ¹

obizhaevd@mail.ru

OBIZHAEV DENIS YU.¹

obizhaevd@mail.ru

ТУРКОВ ВЛАДИМИР ЕВГЕНЬЕВИЧ¹

TURKOV VLADIMIR E.¹

ВОРОБЬЕВ АЛЕКСЕЙ Д.²

VOROBIEV ALEXEI D.²

ЛАГУН АЛЕКСАНДР МИХАЙЛОВИЧ²

LAGUN ALEXANDER M.²

МАШЕВИЧ ПАВЕЛ РОМАНОВИЧ²

MASHEVICH PAVEL R.²

ТРУДНОВСКАЯ ЕВГЕНИЯ АНДРЕЕВНА²

TRUDNOVSKAYA EVGENIA A.²

¹ ГНЦ РФ «ФГУП «ЦНИИХМ»

115487, г. Москва, ул. Нагатинская, 16а

² АО «Ангстрем»

124460, г. Москва, г. Зеленоград, площадь Шокина, 2, стр. 3

¹ FSUE "CNIИHM"

16a Nagatinskaya St., Moscow, 115487

² Angstrom JSC

bld. 3, 2 Shokin Square, Zelenograd, Moscow, 124460

В настоящем докладе рассмотрены особенности конструкции и технологии изготовления, а также основные характеристики двухосевого микромеханического акселерометра в однокристалльном исполнении. Показана возможность герметизации чувствительного элемента на этапе формирования при помощи кремниевой капсулы.

Ключевые слова: МЭМС; однокристалльный микромеханический акселерометр; поверхностная микрообработка; чувствительный элемент; бескорпусной акселерометр.

This report deals with design and technology features of two-axis micromechanical accelerometer. Main accelerometer specifications and the ability of sensor element encapsulation by silicon cap have also been represented.

Keywords: MEMS; single-chip micromechanical accelerometer; surface micromachining; sensor element; unpackaged accelerometer.

В настоящее время микромеханические акселерометры (МЭМС-акселерометры) вызывают все больший интерес в части создания на их основе миниатюрных бесплатформенных инерциальных систем [1]. При этом основными критериями при выборе акселерометров для указанных применений являются малое энергопотребление и массогабаритные характеристики, высокая чувствительность, а также наличие двух или трех осей чувствительности. В наибольшей степени данным требованиям удовлетворяют акселерометры, содержащие микромеханический емкостной первичный преобразователь на поверхности полупроводникового кристалла с предварительно сформированной электронной подсистемой обработки сигнала. Признанным мировым лидером в области создания однокристалльных акселерометров и инерциальных блоков на их основе является компания AnalogDevices (США) [2]. В РФ серийное производство однокристалльных акселерометров отсутствует.

В настоящей работе представлены результаты разработки конструкции и технологии изготовления однокристалльных двухкомпонентных микромеханических акселерометров, позволяющих проводить измерения линейных ускорений в диапазоне $\pm 10 \text{ м/с}^2$. Электронная подсистема изготовлена по технологии БиКМОП с проектной нормой 3 мкм. Чувствительный элемент выполнен на основе поликремния с применением методов поверхностной микрообработки по нормам 1,2 мкм. Электронная микрофотография фрагмента поликремниевое чувствительного элемента представлена на рис. 1. Акселерометры представлены в 16-выводном металлокерамическом корпусе H02.16-2В (АО «ЗПП», г. Йошкар-Ола), а также в бескорпусном исполнении. Последнее стало возможным благодаря применению в конструкции акселерометра кремниевой капсулы, защищающей чувствительный элемент от механических воздействий и загрязнений как на этапе

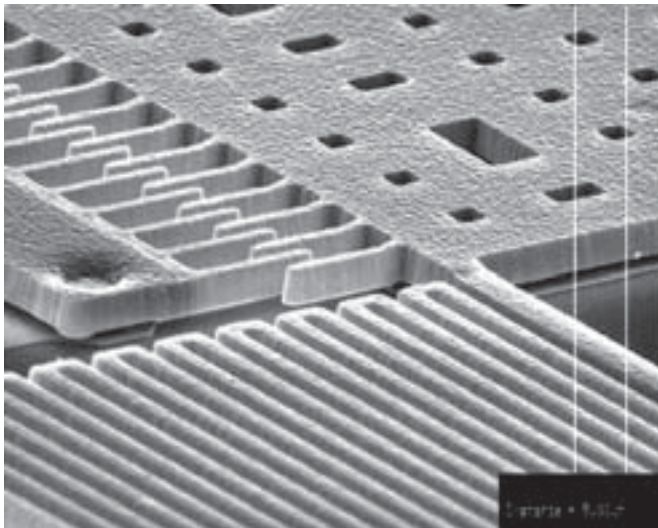


Рис. 1. Электронная микрофотография фрагмента поликремниевого чувствительного элемента

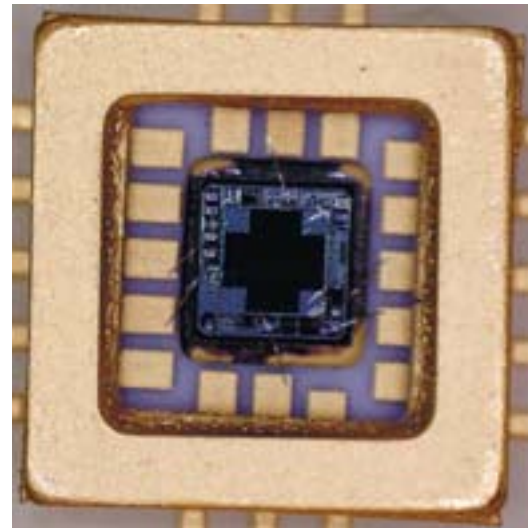


Рис. 2. Микрофотография акселерометра с защитной капсулой, установленного в основание корпуса

Таблица 1. Характеристики изготовленных двухосевых микромеханических акселерометров

№	Характеристика	Величина
1	Диапазон измерений выходного сигнала (по каждой оси), м/с ²	±10
2	Среднеквадратическое отклонение шума в полосе частот 50 Гц, мВ	1,3–1,4
3	Случайная погрешность измерения, м/с ²	Не более $0,78 \cdot 10^{-1}$ (с вероятностью 95 %)
4	Чувствительность, мВ/g	700–800
5	Напряжение питания, В	5±5 %
6	Габаритные размеры (в бескорпусном исполнении), мм	2,1×2,1×1,05
7	Полоса пропускания	0–500 Гц

изготовления (при проведении операции дисковой резки), так и в процессе эксплуатации. Микрофотография акселерометра с защитной кремниевой капсулой, установленного в основание корпуса, представлена на рис. 2.

Капсулы изготавливали на отдельной кремниевой пластине с применением метода глубокого анизотропного ионного травления. Конструкция капсулы предусматривает герметизацию чувствительного элемента при сохранении доступа к контактным площадкам на кристалле. Монтаж капсул проводили на уровне пластины (Wafer level packaging).

Особенностью разработанной конструкции является наличие в ней электронной схемы самотестирования (режим SelfTest), обеспечивающей отклонение инерционной массы чувствительного элемента по двум осям при подаче на соответствующий вход напряжения логической единицы без приложенного ускорения. При этом возможно оценить работоспособность акселерометра, а также провести измерение некоторых его характеристик, таких как ток потребления в динамическом режиме и резонансная частота. Также является возможной оценка чувствительности акселерометра.

Следует отметить, что на основании проведенного математического моделирования показана возможность применения разработанного конструктивного варианта чувствительного элемента для создания акселерометров с диапазоном измеряемых ускорений от 10 м/с² до 200 м/с².

В результате выполнения работы нами изготовлены двухосевые микромеханические акселерометры с основными характеристиками, представленными в табл. 1.

Таким образом, акселерометры, изготовленные в рамках выполнения работы, могут быть использованы при создании бесплатформенных инерциальных систем различного назначения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Olaf Deppe, Georg Dornier, Stefan Konig, Tim Martin, Sven Voigt and Steffen Zimmermann. MEMS and FOG Technologies for Tactical and Navigation Grade Inertial Sensors — Recent Improvements and Comparison. Sensors, 17 (2017), 677 (22 pp).
2. MEMS for Automotive and Aerospace Applications. Michael Kraft, Neil M. White. Elsevier. 2013. 360 p.