

**УДК 628.9**  
**ББК 31.924**  
**К31**

Кашкаров А. П.  
 К31 Микроэлектромеханические системы и элементы. – М.: ДМК  
 Пресс, 2018. – 114 с.

**ISBN 978-5-97060-596-7**

В книге рассматриваются измерительные и силовые электронные датчики: гироскопы и акселерометры, магниточувствительные элементы и тензорезисторы, магнитоэлектронные датчики, а также устройства считывания информации с датчиков. Даны справочные данные, а также показаны инновационные инженерные разработки новых датчиков.

Издание предназначено для специалистов отрасли и широкого круга читателей.

УДК 628.9  
 ББК 31.924

Все права защищены. Любая часть этой книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами без письменного разрешения владельцев авторских прав.

Материал, изложенный в данной книге, многократно проверен. Но, поскольку вероятность технических ошибок все равно существует, издательство не может гарантировать абсолютную точность и правильность приводимых сведений. В связи с этим издательство не несет ответственности за возможные ошибки, связанные с использованием книги.

ISBN 978-5-97060-596-7

© Кашкаров А. П., 2018  
 © Оформление, издание, ДМК Пресс, 2018

# СОДЕРЖАНИЕ

|                  |   |
|------------------|---|
| К читателю ..... | 6 |
|------------------|---|

|                                    |   |
|------------------------------------|---|
| Преимущество технологии МЭМС ..... | 8 |
|------------------------------------|---|

---

|  |          |
|--|----------|
| <b>1 Гироскопы и акселерометры .....</b>   | <b>9</b> |
| 1.1. Описание и принцип действия гироскопа.....  | 10       |
| 1.1.1. Самый простой гироскоп .....  | 11       |
| 1.1.2. Виды гироскопов и практическое<br>применение .....  | 11       |
| 1.2. МЭМС-гироскопы .....  | 16       |
| 1.2.1. Одноосевой МЭМС-датчик угловой<br>скорости (гироскоп) с вибрирующим<br>кремниевым кольцом ..... | 17       |
| 1.2.2. Емкостной трехосевой МЭМС-акселерометр<br>с цифровым выходом.....                               | 24       |
| 1.3. Технологии 3D-МЭМС.....   | 26       |
| 1.3.1. Преимущества технологии «3D-МЭМС».....  | 27       |
| 1.3.2. Принцип действия емкостного<br>акселерометра .....  | 27       |
| 1.4. Производители МЭМС-акселерометров.....  | 30       |
| 1.5. Перспективные разработки в области МЭМС.....  | 31       |
| 1.5.1. Электронный демпфер осадок.....   | 31       |
| 1.5.2. Простой прототип электронного<br>демпфера осадок .....  | 32       |

---

|   |           |
|---|-----------|
| <b>2 Магниточувствительные элементы<br/>и тензорезисторы.....</b>           | <b>37</b> |
| 2.1. Возможности магниточувствительных элементов ....                       | 38        |
| 2.2. Преобразователь магнитного поля.....                                   | 40        |
| 2.2. Магниторезисторы .....   | 41        |
| 2.2.1. «Монолитные» магниторезисторы .....                                  | 41        |
| 2.3. Датчик Виганда .....   | 43        |
| 2.4. Магниточувствительные и магнитоуправляемые<br>интегральные схемы ..... | 47        |
| 2.4.1. Магниточувствительные интегральные<br>схемы.....                     | 47        |

|  |    |
|--|----|
| 2.4.2. Магниточувствительные микросхемы .....  | 47 |
| 2.4.3. Магнитоуправляемые интегральные схемы .....   | 54 |
| 2.5. Перспективы и тенденции развития<br>магниточувствительных и магнитоуправляемых<br>микросхем ..... | 57 |
| 2.6. Магниточувствительные датчики перемещения .....   | 57 |
| 2.6.1. Магнитные датчики линейного<br>перемещения .....  | 58 |
| 2.6.2. Координаточувствительные магнитные<br>датчики .....   | 58 |
| 2.6.3. Устройства для определения вектора<br>магнитного поля с применением феррозондов .....           | 60 |
| 2.6.4. Ориентационный МЭМС-датчик угла<br>наклона .....  | 61 |
| 2.7. Тензорезисторы .....  | 62 |
| 2.7.1. Тензорезисторы как современное решение<br>для разработчиков-метрологов .....                    | 62 |
| 2.7.2. Преимущества тензорезисторов .....  | 63 |
| 2.7.3. Примеры практических электронных<br>модулей для работы с тензорезисторами .....                 | 65 |
| 2.7.4. Характеристики и особенности<br>тензорезисторов .....   | 69 |
| 2.7.5. Практика применения .....   | 72 |
| 2.8. Полупроводниковые терморезисторы на основе<br>синтетического монокристалла алмаза .....           | 74 |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>3 Магнитоэлектронные датчики .....</b>                                | <b>75</b> |
| 3.1. Магнитострикционные датчики .....                                   | 76        |
| 3.1.1. Устройство и принцип работы<br>магнитострикционных датчиков ..... | 76        |
| 3.1.2. Магнитострикционные датчики разных<br>производителей .....        | 79        |
| 3.1.3. Магнитострикционные датчики линейного<br>перемещения .....        | 80        |
| 3.2. Энкодеры .....  | 88        |
| 3.3. Ультразвуковые датчики .....  | 89        |
| 3.4. Оптические датчики и световые завесы .....                          | 91        |
| 3.4.1. Световая завеса .....   | 92        |
| 3.4.2. Оптические датчики: исполнение корпуса<br>LT3 и LG5/LG10 .....    | 93        |

|  |     |
|--|-----|
| 3.4.3. Оптические датчики MINI-ARRAY TM –<br>измерительные световые завесы ..... | 93  |
| 3.5. Практические конструкции магнитоэлектронных<br>датчиков .....               | 94  |
| 3.6. Миниатюрный датчик наклона и сотрясения .....                               | 98  |
| 3.7. Датчик детонации на основе петли Виганда .....                              | 101 |

---

|                         |  |            |
|-------------------------|--|------------|
| <b>4</b>                | <b>Устройства считывания информации<br/>и взаимосвязи с датчиками .....</b>      | <b>103</b> |
| 4.1.                    | Системы обработки данных.....  | 104        |
| 4.2.                    | Интерфейсная техника .....   | 104        |
| 4.3.                    | Устойчивость микромагнитоэлектронных систем<br>к электромагнитному импульсу..... | 105        |
| <b>Литература .....</b> |  | <b>112</b> |