



УДК 681.586.78

DOI: 10.22184/NanoRus.2019.12.89.527.529

# ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ МАГНИТНОГО ПОЛЯ С ФУНКЦИОНАЛЬНО-ИНТЕГРИРОВАННОЙ СТРУКТУРОЙ

## MAGNETIC FIELD TRANSDUCER WITH FUNCTIONAL INTEGRATED STRUCTURE

ИВАНОВ ДМИТРИЙ НИКОЛАЕВИЧ

IVANOV DMITRY N.

АО «НИИМА «Прогресс»  
125183, г. Москва, проезд Черепановых, 54

*Microelectronics Research Institute PROGRESS JSC  
("PROGRESS MRI" JSC)  
54 Cherepanovykh Lane, Moscow, 125183, Russia*

Изобретение посвящено проблеме создания высокоточных сенсоров магнитного поля с чувствительностью до долей нанотесла. Создание таких приборов резко расширит область их применения, особенно в медицине. Высокая чувствительность и координатное разрешение сенсора достигаются применением функционально-интегрированной структуры в конструкции сенсора и возможностью минимизировать уровень шумов при использовании последовательного соединения цепочек пикселей сенсора магнитного поля.

**Известны аналоги** — полупроводниковые сенсоры магнитного поля, использующие отклонения магнитным полем траектории диффузионного движения неосновных носителей заряда (ПСМПД) [1–4] в базе биполярных транзисторов.

Основой известных конструкций диффузионных сенсоров магнитного поля ПСМПД [1–4] является горизонтальный биполярный транзистор, расположенный на поверхности подложки, который содержит диэлектрик, области коллектора и эмиттера  $n$ - (р) типа проводимости и область базы  $p$ - ( $n$ ) типа проводимости, на поверхности которых размещены соответствующие электроды, т. е. на области эмиттера — электрод общей шины, на области базы — электрод управляющей шины, на области коллектора — электрод выходной шины, нагрузочный резистор и электрод шины питания. На рис. 1б показана топология прототипа.

Недостатком аналогов является необходимость преобразования получаемого аналогового, выходного сигнала в цифровой код, что существенно усложняет их конструкцию и технологию их изготовления, увеличивает энергию потребления и уменьшает точность измерения магнитного поля.

Этих недостатков частично лишена наиболее близкая по технической сущности конструкция, описанная в патенте [4], которая взята за прототип. Ее электрическая схема, конструкция и топология показаны соответственно на рис. 1а, б, в. Электрическая схема прототипа содержит  $n$ - $p$ - $n$  ( $p$ - $n$ - $p$ ) биполярный транзистор, эмиттер которого подсоединен к общей шине питания, база — к управляющей шине, коллектор — к выходной шине и через нагрузочный резистор к шине питания

Конструкция прототипа, показанная на рис. 1б, представляет собой горизонтальный биполярный транзистор, расположенный на поверхности подложки, который содержит диэлектрик, области коллектора и эмиттера  $n$ - (р) типа проводимости и область базы  $p$ - ( $n$ ) типа проводимости, на поверхности которых размещены соответствующие электроды, т. е. на области эмиттера — электрод общей шины, на области базы — электрод управляющей шины, на области коллектора — электрод выходной шины, нагрузочный резистор и электрод шины питания. На рис. 1в показана топология прототипа.

Техническим эффектом является повышение точности измерения и уменьшение энергии потребления.

Данные эффекты достигаются тем, что электрическая схема предлагаемого ПСМПД (см. рис. 2а) содержит двухколлекторный  $n$ - $p$ - $n$  ( $p$ - $n$ - $p$ ) биполярный транзистор (эмиттер которого подсоединен к общей шине питания, база соединена со вторым выводом конденсатора и первым выводом дополнительного резистора, второй вывод которого подсоединен к общей шине, первый вывод базы соединен с управляющей шиной, первый коллектор транзистора подсоединен к выходной шине и через нагрузочный резистор — к шине питания), дополнительный резистор базы, первый вывод которого

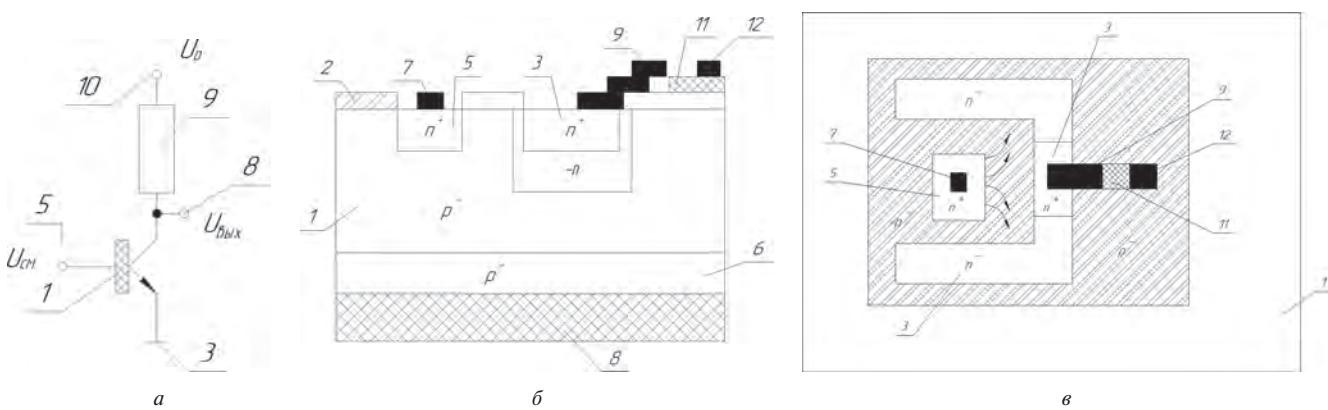


Рис. 1

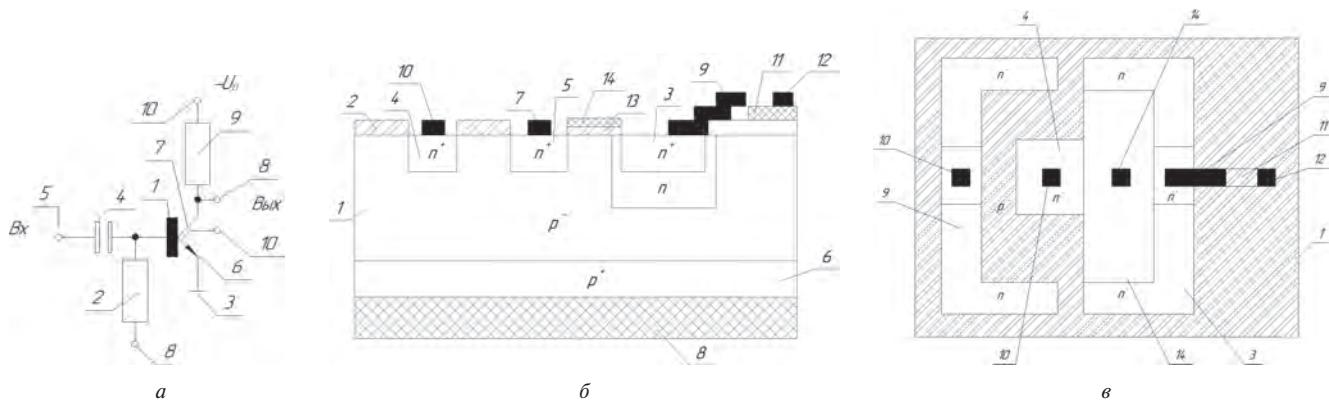


Рис. 2

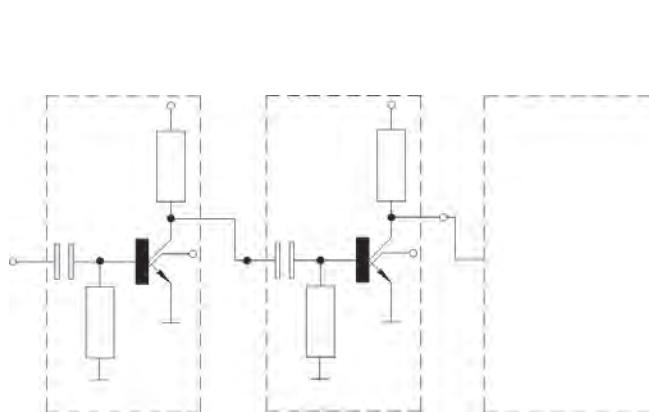


Рис. 3

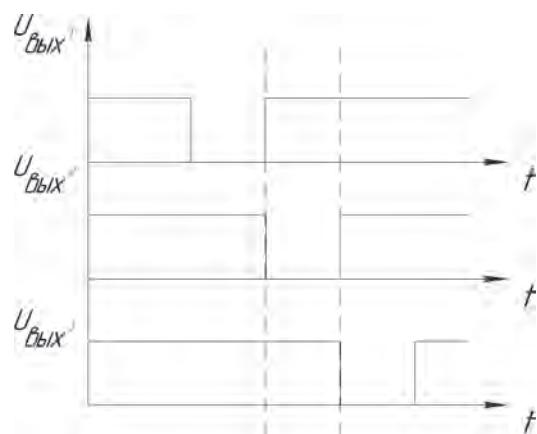


Рис. 4

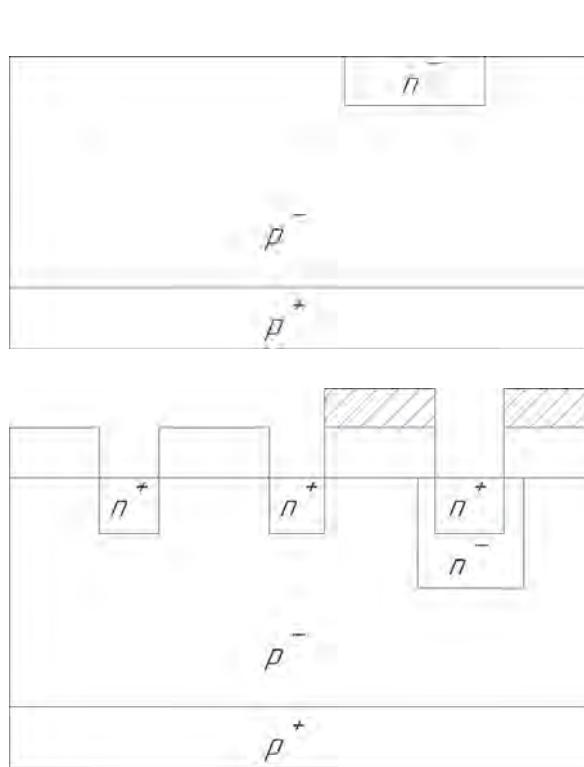
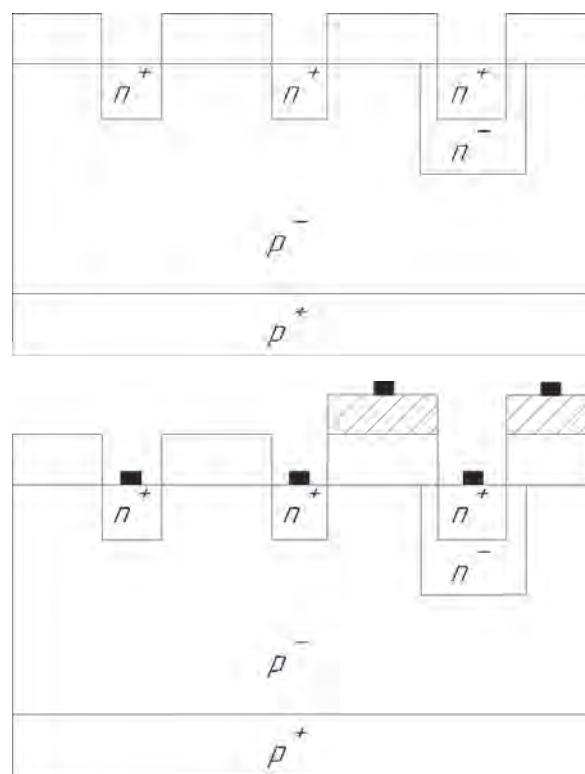


Рис. 5





подсоединен к общей шине, а второй — к базе транзистора, второй коллектор биполярного транзистора соединен с общей шиной питания.

Конструкция ПСМП Д представлена на рис. 2б. Топология (см. рис. 2б) содержит диэлектрик, расположенный в области базы, на поверхности которой находится дополнительный электрод управляющей шины, образующий с диэлектриком и областью базы функционально-интегрированную структуру МОП-конденсатора, при этом сопротивление подложки образует резистор базы, на поверхности подложки также расположена область дополнительного второго коллектора n- (p) типа проводимости, а на его поверхности находится соответствующий электрод второго коллектора, подсоединеный к шине питания

Физический принцип действия аналогичен и основан на отклонении траектории движения электронов магнитным полем (закон Лоренца). Данное обстоятельство при наличии магнитного поля приводит к увеличению расстояния, проходимого электронами от области эмиттера до области коллектора, т. е. к увеличению эффективной толщины базы транзистора и, соответственно, к пропорциональному уменьшению тока коллектора горизонтального биполярного транзистора, поскольку его величина связана квадратичной зависимостью с эффективной толщиной базы транзистора:

$$I_k = I_b \cdot t \cdot B$$

где

$$B_y = t_o \cdot D_n / W_{\phi} \cdot W_{\phi},$$

где  $B_y$  — коэффициент усиления транзистора,  $I_k$  — ток коллектора,  $I_b$  — ток базы,  $t_o$  — время жизни неосновных носителей заряда,  $D_n$  — коэффициент диффузии,  $W_{\phi}$  — эффективная толщина базы.

В сенсоре магнитного поля прототипа изменение тока коллектора приводит к изменению падения напряжения на нагрузочном резисторе и аналогового выходного сигнала.

Технология изготовления представлена на рис. 5.

### Пример практической реализации

На рис. 3 представлена электрическая схема цепочки пикселей сенсора, которая экспериментально исследовалась на макете, который был собран из кремниевых транзисторов КТ 315, конденсаторов 0,1 мкФ и сопротивлений ОМТ с номиналами 1 ком нагрузочный и 22 ком дополнительный.

На рис. 6 показана временная зависимость выходных напряжений цепочки шести пиксель.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Козлов А. В., Королёв М. А., Тихонов Р. Д., Черемисов А. А. Планарный биполярный магнитотранзистор. Патент РФ 2439748.
2. Popovich R., Bakes Ha. P. Sensitive magnetosensors — magnetic field sensor. Пат. США 4,700,211.
3. Davies L. W., Wells M. S. Magneto-transistors incorporated in an IC // Proceedings IREE Australia, 1971, № 6. Р. 235–238.
4. Козлов А. В., Тихонов Р. Д. Полупроводниковый магнитный преобразователь. Патент РФ 2284612.

## КНИГИ ИЗДАТЕЛЬСТВА "ТЕХНОСФЕРА"



### МЕТАЛЛ/ПОЛУПРОВОДНИК СОДЕРЖАЩИЕ НАНОКОМПОЗИТЫ

под ред. Л. И. Трахтенберга,  
М. Я. Мельникова

М.: ТЕХНОСФЕРА, 2019. – 624 с.  
ISBN 978-5-94836-464-3

Цена 975 руб.

В учебном пособии представлены различные физико-химические, электрофизические и эксплуатационные свойства композиционных материалов, содержащих металлические и полупроводниковые наночастицы.

Материал можно условно разбить на несколько блоков, в которых рассматриваются строение наночастиц и их поведение при воздействии электрического, магнитного и электромагнитного полей. Также уделено внимание исследованию биологических систем и применению наноматериалов в медицине.

Предлагаемое пособие будет полезно читателям широкого круга интересов – от студентов и аспирантов до преподавателей и научных сотрудников, интересующихся различными аспектами теории и практики явлений, протекающих в нанокомпозитах.

### КАК ЗАКАЗАТЬ НАШИ КНИГИ?

✉ 125319, Москва, а/я 91; ☎ +7 (495) 234-0110; ☎ +7 (495) 956-3346; knigi@technosphera.ru, sales@technosphera.ru



УДК 621.382

DOI: 10.22184/NanoRus.2019.12.89.530.534

# ЦИФРОВОЙ ИЗОЛЯТОР НА ОСНОВЕ ИНТЕГРАЛЬНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

## DIGITAL ISOLATOR BASED ON INTEGRATED TRANSFORMER

БУТУЗОВ ВЛАДИМИР АЛЕКСЕЕВИЧ<sup>1,3</sup>

v.butuzov@5okb.ru

НАЗАРЕНКО АЛЕКСЕЙ ЕВГЕНЬЕВИЧ<sup>1,3</sup>ДМИТРИЕВ НИКИТА ЮРЬЕВИЧ<sup>2</sup>ТРОФИМОВ АЛЕКСЕЙ ВИКТОРОВИЧ<sup>2</sup>СМИРНОВ ЕВГЕНИЙ АНДРЕЕВИЧ<sup>2</sup>СМИРНОВА ТАТЬЯНА ВЛАДИМИРОВНА<sup>2</sup>БОЧАРОВ ЮРИЙ ИВАНОВИЧ<sup>3</sup>ПРОКОПЬЕВ ВИТАЛИЙ ЮРЬЕВИЧ<sup>1,4</sup>КУСЬ ОЛЕГ НИКОЛАЕВИЧ<sup>5</sup>BUTUZOV VLADIMIR A.<sup>1,3</sup>

v.butuzov@5okb.ru

NAZARENKO ALEXEI E.<sup>1,3</sup>DMITRIEV NIKITA YU.<sup>2</sup>TROFIMOV ALEKSEI V.<sup>2</sup>SMIRNOV EVGENY A.<sup>2</sup>SMIRNOVA TATIANA V.<sup>2</sup>BOCHAROV YURI I.<sup>3</sup>PROKOPYEV VITALY YU.<sup>1,4</sup>KUS OLEG N.<sup>5</sup><sup>1</sup> ООО «TRANSFORMO»

121205, г. Москва, ул. Большой бульвар, 42, стр. 1, пом. 334

<sup>2</sup> ООО «Крокус Наноэлектроника»

109316, г. Москва, Волгоградский пр., 42, корп. 5, пом. 1

<sup>3</sup> Национальный исследовательский

ядерный университет «МИФИ»

115409, Россия, г. Москва, Каширское ш., 31

<sup>4</sup> Новосибирский государственный университет

630090, г. Новосибирск, ул. Пирогова, 2

<sup>5</sup> ООО «ОКБ «Пятое Поколение»

630090, г. Новосибирск, ул. Николаева, 11

<sup>1</sup> "TRANSFORMO" LLC.

bld. 1, 42 Bolshoy Boulevard, Moscow, 121205.

<sup>2</sup> "Crocus Nanoelectronics" LLC

bld. 5, 42 Volgogradskiy Ave., Moscow, 109316, Russia

<sup>3</sup> National Research Nuclear University MEPhI,

31 Kashirskoe Highway, Moscow, 115409, Russia

<sup>4</sup> Novosibirsk State University

2 Pirogova St., Novosibirsk, 630090, Russia

<sup>5</sup> "OKB Fifth Generation" LLC

11 Nikolaeva St., Novosibirsk, 630090, Russia

Представлены результаты разработки цифрового изолятора на основе интегрального трансформатора. Изолятор реализован в виде микросборки, состоящей из кристаллов приемопередатчика и интегрального трансформатора. Согласно результатам испытаний тестовых образцов максимальная скорость передачи данных разработанного цифрового изолятора — не менее 30 Мбит/с.

**Ключевые слова:** цифровой изолятор; интегральный трансформатор; КМОП.

The paper presents the results of developing a digital isolator based on an integral transformer. The isolator is realized as a microassembly of a transceiver chip and an integrated transformer. According to the test results, the maximum data transmission rate speed of the developed digital isolator is not less than 30 Mbit/s.

**Keywords:** digital isolator; integrated transformer; CMOS.

## ВВЕДЕНИЕ

Гальваническая развязка в каналах передачи и обработки цифровых сигналов применяется в различных электронных системах: в бортовой аппаратуре космических аппаратов, в медицинской технике, в автоиндустрии, робототехнике и в других областях. В настоящее время активно развивается технология индуктивных и емкостных цифровых изоляторов, обеспечивающих лучшие показатели по энергопотреблению, быстродействию и занимаемой площади по сравнению с традиционно применяемыми оптронами и дискретными трансформаторами.

Вместе с тем коммерчески доступные изоляторы от ведущих мировых производителей непригодны для использования

в условиях повышенной радиационной нагрузки, а спектр изделий с повышенной стойкостью сильно ограничен, что отрицательно сказывается на массогабаритных и других функциональных параметрах аппаратуры космического назначения [1, 2].

Данная работа посвящена разработке цифрового изолятора среднего быстродействия, предназначенного для использования в условиях повышенной радиационной нагрузки, в том числе в составе бортовых систем космических аппаратов.

Структурная схема цифрового изолятора приказана на рис. 1. Это микросборка, состоящая из двух кристаллов, один из которых содержит блоки передатчика и приемника, а на другом расположен интегральный трансформатор, выполняющий функцию изолирующего барьера.