



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, а на его областях эмиттера, коллектора и базы размещены соответствующие электроды, диэлектрик и нагрузочный резистор.

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 п-р-п (р-п-р) 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 п- (р) типа проводимости и область базы р- (п) 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 п-р-п (р-п-р) 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

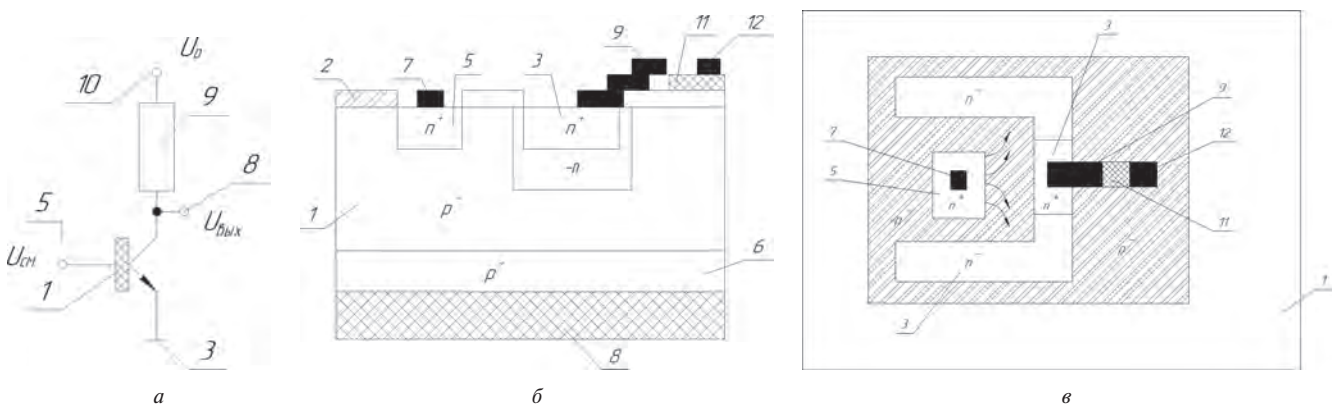


Рис. 1

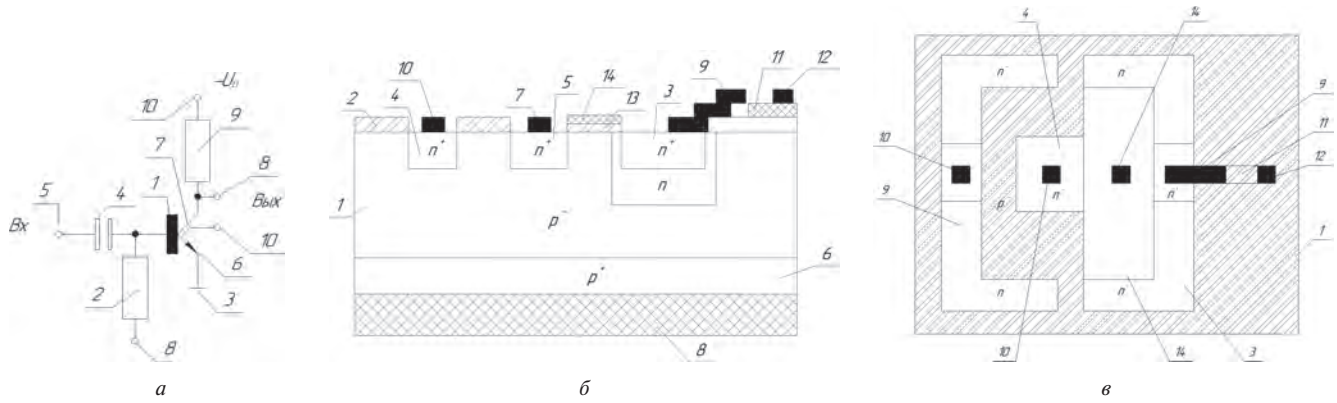


Рис. 2

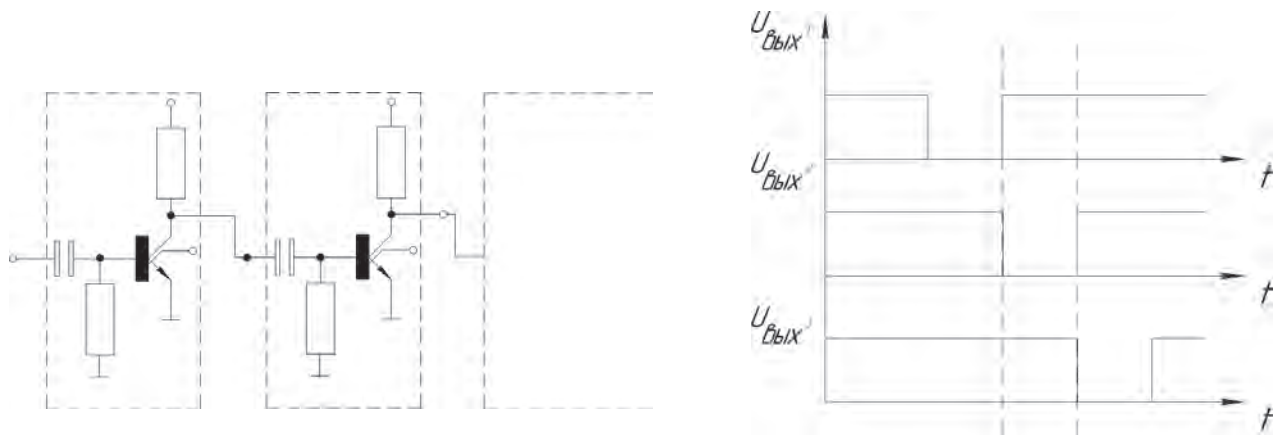


Рис. 3

Рис. 4

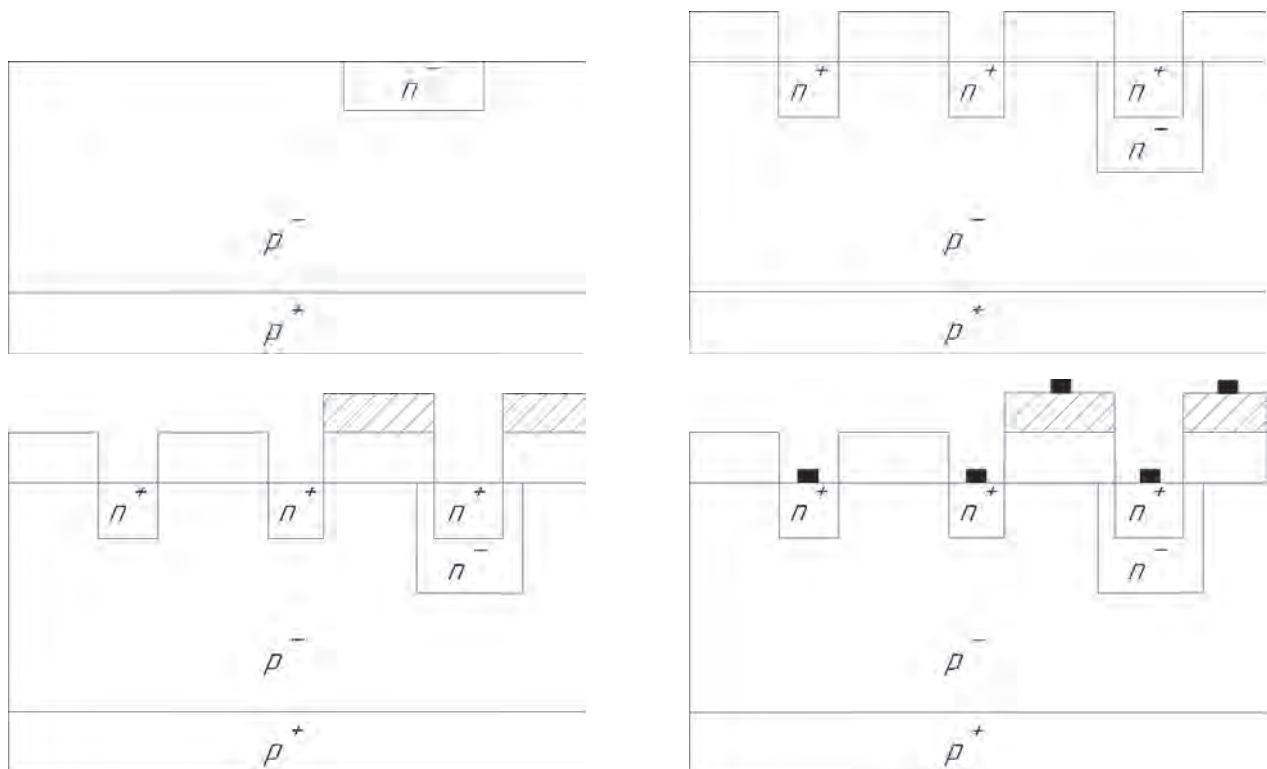


Рис. 5



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. 2в) 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- (р) типа проводимости, а на его поверхности находится соответствующий электрод второго коллектора, подсоединенный 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, пройденного электронами от области эмиттера до области коллектора, т.е. к увеличению эффективной толщиной 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  $B_y = t_o \cdot D_n / W_{эф} \cdot W_{эф}$ ,

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,  $W_{эф}$  — 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. P. 235–238.
4. Козлов А. В., Тихонов Р. Д. Полупроводниковый магнитный преобразователь. Патент РФ 2284612.

### КНИГИ ИЗДАТЕЛЬСТВА "ТЕХНОСФЕРА"



Цена 975 руб.

## МЕТАЛЛ/ПОЛУПРОВОДНИК СОДЕРЖАЩИЕ НАНОКОМПОЗИТЫ

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

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

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 наноккомпозитах.

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

BUTUZOV VLADIMIR A.<sup>1,3</sup>  
v.butuzov@5okb.ru

НАЗАРЕНКО АЛЕКСЕЙ ЕВГЕНЬЕВИЧ<sup>1,3</sup>

NAZARENKO ALEXEI E.<sup>1,3</sup>

ДМИТРИЕВ НИКИТА ЮРЬЕВИЧ<sup>2</sup>

DMITRIEV NIKITA YU.<sup>2</sup>

ТРОФИМОВ АЛЕКСЕЙ ВИКТОРОВИЧ<sup>2</sup>

TROFIMOV ALEKSEI V.<sup>2</sup>

СМИРНОВ ЕВГЕНИЙ АНДРЕЕВИЧ<sup>2</sup>

SMIRNOV EVGENY A.<sup>2</sup>

СМИРНОВА ТАТЬЯНА ВЛАДИМИРОВНА<sup>2</sup>

SMIRNOVA TATIANA V.<sup>2</sup>

БОЧАРОВ ЮРИЙ ИВАНОВИЧ<sup>3</sup>

BOCHAROV YURI I.<sup>3</sup>

ПРОКОПЬЕВ ВИТАЛИЙ ЮРЬЕВИЧ<sup>1,4</sup>

PROKOPYEV VITALY YU.<sup>1,4</sup>

КУСЬ ОЛЕГ НИКОЛАЕВИЧ<sup>5</sup>

KUS OLEG N.<sup>5</sup>

<sup>1</sup> ООО «ТРАНСФОРМО»

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

<sup>2</sup> ООО «Crocus Nanoelectronics»

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 insulator based on an integral transformer. The insulator 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 insulator is not less than 30 Mbit/s.

*Keywords:* digital insulator; 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.