



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**

(21)(22) Заявка: 2014124563/28, 17.06.2014

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
17.06.2014

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 17.06.2014

(45) Опубликовано: 27.08.2015 Бюл. № 24

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: US 20120169330 A1, 05.07.2012. US 20080112091 A1, 15.05.2008. WO 2010097932 A1, 02.09.2010. EP 1244117 B1, 20.12.2006. EP 965851 A2, 22.12.1999. RU 2392697 C1, 20.06.2010

Адрес для переписки:

660036, г.Красноярск, Академгородок, 50, стр. 38, ИФ СО РАН, патентный отдел

(72) Автор(ы):

Смоляков Дмитрий Александрович (RU),  
Волков Никита Валентинович (RU),  
Густайцев Артур Олегович (RU),  
Тарасов Антон Сергеевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ  
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ им. Л.В. Киренского  
Сибирского отделения Российской академии  
наук (RU)**

**(54) ЧУВСТВИТЕЛЬНЫЙ ЭЛЕМЕНТ НА ОСНОВЕ МАГНИТОИМПЕДАНСА**

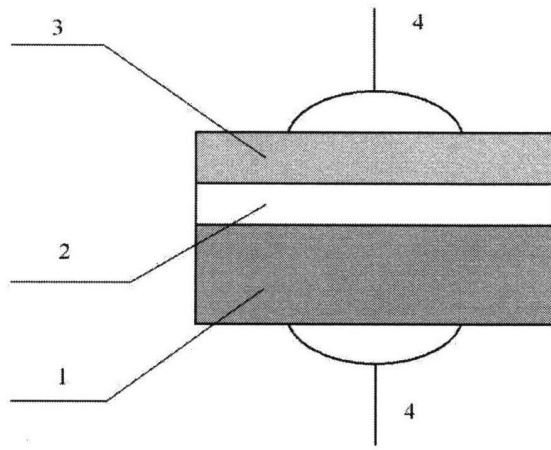
(57) Реферат:

Использование: для создания новых элементов, необходимых для хранения, обработки и передачи данных. Сущность изобретения заключается в том, что чувствительный элемент на основе эффекта магнитоимпеданса включает немагнитную подложку, слой диэлектрика и контакты и имеет СРР геометрию, где в качестве подложки используют n-Si, в качестве диэлектрика используют SiO<sub>2</sub> и металлические

электроды в виде полос, нанесенных на SiO<sub>2</sub> и нижнюю часть полупроводника n-Si, и поведение магнитоимпеданса обусловлено процессами перезарядки поверхностных состояний на границе диэлектрик/полупроводник при приложенном к структуре переменном напряжении. Технический результат: обеспечение возможности реализации большой величины МИ эффекта в МДП структуре при использовании СРР геометрии. 4 ил.

**RU 2 561 232 C1**

**RU 2 561 232 C1**



Фиг. 1

RU 2 5 6 1 2 3 2 C 1

RU 2 5 6 1 2 3 2 C 1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2014124563/28, 17.06.2014

(24) Effective date for property rights:  
17.06.2014

Priority:

(22) Date of filing: 17.06.2014

(45) Date of publication: 27.08.2015 Bull. № 24

Mail address:

660036, g.Krasnojarsk, Akademgorodok, 50, str. 38,  
IF SO RAN, patentnyj otdel

(72) Inventor(s):

Smoljakov Dmitrij Aleksandrovich (RU),  
Volkov Nikita Valentinovich (RU),  
Gustajtsev Artur Olegovich (RU),  
Tarasov Anton Sergeevich (RU)

(73) Proprietor(s):

FEDERAL'NOE GOSUDARSTVENNOE  
BJuDZhetNOE UChREZhDENIE NAUKI  
INSTITUT FIZIKI im. L.V. Kirenskogo  
Sibirskogo otdelenija Rossijskoj akademii nauk  
(RU)

(54) **MAGNETOIMPEDANCE BASED SENSITIVE ELEMENT**

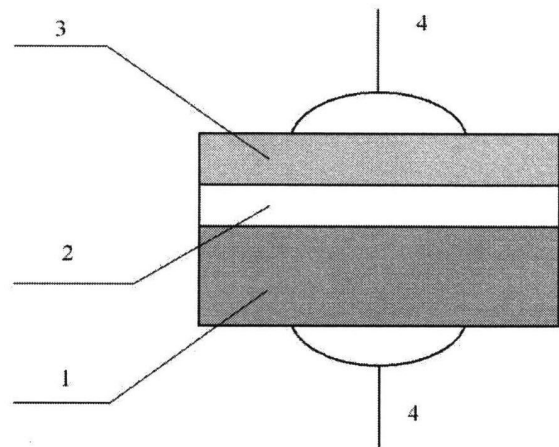
(57) Abstract:

FIELD: radio engineering, communication.

SUBSTANCE: sensitive element based on magnetoimpedance effect includes non-magnetic substrate, dielectric layer and contacts and has SRS geometry where the substrate is n-Si, the dielectric is SiO<sub>2</sub> and metal electrodes in the form of strips applied on SiO<sub>2</sub> and lower part of n-Si semiconductor, and the magnetoimpedance behaviour is explained by processes of recharge of surface states on the boundary dielectric/semiconductor at the alternating voltage applied to the structure.

EFFECT: possibility of achievement of large value of Mie effect in MIS structure when using SRS geometry.

4 dwg



Фиг. 1

RU 2 561 232 C1

RU 2 561 232 C1

Изобретение относится к микроэлектронике и может быть использовано при создании новых элементов, необходимых для хранения, обработки и передачи данных.

Магнитный импеданс (МИ) - это эффект изменения комплексного сопротивления,  $Z=R+iX$  (как действительной,  $R$ , так и мнимой части,  $X$ ), ферромагнитного проводника при протекании через него переменного тока под действием внешнего магнитного поля.

В 1994 году было обнаружено, что в некоторых магнитомягких материалах относительное изменение импеданса превышает 100% в сравнительно малых магнитных полях (менее 1-10 Э) [Meydan T. Application of amorphous materials to sensors. J Magn Mater 1995; 133:525-32]. Такая разновидность МИ получила название «Гигантский магнитный импеданс» (ГМИ). Чувствительность ГМИ к внешнему магнитному полю на сегодняшний день достигает 500%/Э, что превышает чувствительность всех других известных эффектов.

Начиная с первой публикации эффекта ГМИ, несколько групп исследователей сосредоточились на том, чтобы улучшить чувствительность и размер датчиков [R. Beach and A. Berkowitz, "Giant Magnetic Field Dependent Impedance of Amorphous FeCoSiB Wire," Applied Physics Letters, Vol. 64, No. 26, 1994, pp. 3652-3654].

Недостаток этих устройств заключается в габаритах устройств, т.к. датчики ГМИ в современных устройствах требуют производства миниатюрных сенсоров на основе тонких пленок, связанных с полупроводниковой электроникой.

Наиболее близким к заявляемому изобретению является сенсорный элемент на основе магнитоимпеданса [заявка WO 2010097932A1, МПК G01R 33/02, опубл. 02.09.2010 (прототип)], содержащий немагнитную подложку, слой диэлектрика и контакты. Прототип показывает высокую чувствительность к магнитному полю.

Однако данный элемент основан на эффекте магнитоимпеданса, возникающего за счет скин-эффекта, представлен в планарной геометрии, и, кроме того, прототип представляет собой аморфный провод, что усложняет производство и использование элемента.

Технический результат изобретения заключается в реализации большой величины МИ эффекта в МДП (магнетик/диэлектрик/полупроводник) структуре при использовании СРР (current perpendicular to plane) геометрии, при которой ток перпендикулярен плоскости интерфейсов структуры, и в возможности эффективного управления величиной МИ эффекта током смещения, протекающем через структуру.

Указанный технический результат достигается тем, что в чувствительном элементе на основе эффекта магнитоимпеданса, включающем немагнитную подложку, слой диэлектрика и контакты, новым является то, что имеет он СРР геометрию, где в качестве подложки используют n-Si, в качестве диэлектрика используют SiO<sub>2</sub> и металлические электроды в виде полос, нанесенных на SiO<sub>2</sub> и нижнюю часть полупроводника n-Si, и поведение магнитоимпеданса обусловлено процессами перезарядки поверхностных состояний на границе диэлектрик/полупроводник при приложенном к структуре переменном напряжении.

В гибридной структуре металл/диэлектрик/полупроводник возникает эффект гигантского магнитоимпеданса за счет принципиально нового механизма благодаря наличию поверхностных состояний на границе диэлектрик/полупроводник, которые участвуют в процессах перезарядки при воздействии на структуру переменного напряжения. Действие магнитного поля сводится, главным образом, к сдвигу уровней поверхностных состояний на границе диэлектрик/полупроводник. Кроме того, при определенном выборе величины тока смещения возможно влияние поля на вероятность

туннелирования электронов через потенциальный барьер между поверхностными состояниями и ферромагнитным электродом.

Отличия заявляемого устройства от наиболее близкого аналога заключаются в том, что эффект гигантского магнитоимпеданса возникает за счет наличия поверхностных состояний на границе диэлектрик/полупроводник. И благодаря этому, за счет использования внешнего магнитного поля и тока смещения, в данном устройстве можно варьировать значения магнитосопротивления. Эти отличия позволяют сделать вывод о соответствии заявляемого технического решения критерию «новизна». Признаки, отличающие заявляемое техническое решение от прототипа, не выявлены в других технических решениях при изучении данной и смежной областей техники и, следовательно, обеспечивают заявляемому решению соответствие критерию «изобретательский уровень».

Изобретение поясняется чертежами. На фиг. 1 приведен пример конструкции предлагаемого МИ элемента. На фиг. 2 приведена температурная зависимость реальной части импеданса структуры Fe/SiO<sub>2</sub>/n-Si при частоте переменного тока 10 КГц и с приложенным внешним напряжением смещения. На фиг. 3 показаны полевые зависимости реальной (а) и мнимой (b) частей импеданса при разных температурах. На фиг. 4 представлена схематическая зонная диаграмма диода Шоттки на основе структуры Fe/SiO<sub>2</sub>/n-Si.

Чувствительный элемент на основе эффекта магнитоимпеданса состоит из подложки 1, слоя диэлектрика 2, слоя металла 3 и токовых контактов 4.

Устройство представляет собой гибридную структуру в виде диода металл/диэлектрик/полупроводник (МДП) с барьером Шоттки. Структура изготавливается на подложке монокристаллического Si. На поверхности подложки формируется слой диэлектрика, на который напыляется слой металла. Два токовых контакта в виде полос токопроводящего клея наносятся на поверхность железа и на нижнюю часть n-Si.

Работает устройство следующим образом. При воздействии на структуру внешнего магнитного поля H изменяется значение сопротивления образца. Таким образом, за счет изменения внешнего магнитного поля можно осуществлять изменение магнитосопротивления структуры

$$MR = 100\% \times \frac{R(H) - R(0)}{R(0)} .$$

При воздействии напряжения смещения V<sub>b</sub> также изменяется значение сопротивление образца, а следовательно, магнитосопротивление структуры также меняет значение, фиг. 2. Таким образом, меняя H и V<sub>b</sub>, возможно более гибкое управление эффектом магнитоимпеданса.

В случае МДП структуры поведение импеданса обусловлено процессами перезарядки поверхностных состояний на границе диэлектрик/полупроводник. Эти процессы вызваны приложенным к структуре переменным напряжением V<sub>ac</sub>, что приводит к смещению уровня Ферми через границу энергетических уровней. Сам же эффект магнитоимпеданса в МДП диоде следует рассматривать с позиции влияния магнитного поля на энергетическую структуру поверхностных состояний на границе диэлектрик/полупроводник. Хорошо известно, что при изменении напряжения смещения на МДП структуре (V<sub>b</sub>) положение энергетических уровней поверхностных состояний изменяется, следуя за смещением краев разрешенных зон полупроводника, в то время как положение уровня Ферми остается неизменным. При включении отрицательного смещения V<sub>b</sub><0

в приповерхностном слое МДП структуры образуется обедненная электронами область, которая действует как добавочный слой диэлектрика и, тем самым, понижает полную емкость структуры. Появление области обеднения при  $V_b < 0$  означает, что в области туннельного перехода возникает дополнительное электрическое поле, которое может оказывать влияние на процессы туннелирования между металлом и поверхностными состояниями. В случае положительного смещения  $V_b > 0$  влияния на поведение импеданса не обнаруживается. Это, по-видимому, объясняется тем, что основное падение напряжения приходится на объем полупроводника. Тем самым демонстрируется возможность управления при помощи смещения особенностями  $R(T)$  и  $X(T)$ , связанными с поверхностными состояниями, и, следовательно, возможность управления величинами  $MR$  и  $MX$ , где

$$MX = 100\% \times \frac{X(H) - X(0)}{X(0)}$$

Пример практически реализованной структуры соответствует фиг. 1, где 1 - подложка n-Si; 2 - слой  $SiO_2$ ; 3 - слой Fe и 4 - электроды. Такая структура Fe/ $SiO_2$ /n-Si была изготовлена следующим образом. Подложка n-Si была очищена методом Шираки. На поверхности подложки методом химического окисления формировался слой  $SiO_2$ , на который нанесен слой Fe методом термического испарения. Контакты были нанесены на поверхность железа и на нижнюю часть n-Si(100) при помощи двухкомпонентного токопроводящего клея. Изменение действительной части импеданса для Fe/ $SiO_2$ /n-Si представлено на фиг. 2. Изменение в поведении  $R(T)$  при включении поля позволяет понять необычное на первый взгляд поведение действительной части импеданса при изменении  $H$  ( $R(H)$ ) при фиксированной температуре, фиг. 3(a). Характер поведения  $R(H)$  зависит от того, на каком участке  $R(T)$  находится система при  $H=0$ , это положение, в свою очередь, полностью определяется температурой. Фиг. 3(a) демонстрирует, что в зависимости от выбора температуры можно реализовать положительное магнитосопротивление, отрицательное магнитосопротивление или даже смену знака магниторезистивного эффекта при определенной величине  $H$ .

Магнитосопротивление ( $MR$ ) мы определяем здесь как

$$MR = 100\% \times \frac{R(H) - R(0)}{R(0)}$$

В случае влияния  $H$  на  $X(H)$  ситуация более простая (фиг. 3(b)), поскольку в магнитном поле происходит сдвиг  $X(T)$  в более высокие температуры, реализуется только

$$MX = 100\% \times \frac{X(H) - X(0)}{X(0)}$$

От температуры зависит величина  $MX$  и характер поведения  $X(H)$ .

Можно заключить, что в поле  $E_S$  сдвигаются в сторону от  $E_C$ , фиг. 4, меняется, хоть и незначительно, и вид плотности функции поверхностных состояний  $N(E)$ . Действительно, в этом случае уровень Ферми, который в полупроводнике n-типа при понижении температуры сдвигается в сторону  $E_C$ , «достигнет» положения энергетических уровней поверхностных состояний при более высоких температурах, чем в отсутствие магнитного поля. Поэтому и пик  $R(T)$  в поле также наблюдается при более высоких температурах. Изменение  $N(E)$  проявляется в увеличении высоты пика  $R(T)$  и в изменении его формы.

## Формула изобретения

Чувствительный элемент на основе эффекта магнитоимпеданса, включающий немагнитную подложку, слой диэлектрика и контакты, отличающийся тем, что имеет  
5 СРР геометрию, где в качестве подложки используют n-Si, в качестве диэлектрика используют SiO<sub>2</sub> и металлические электроды в виде полос, нанесенных на SiO<sub>2</sub> и нижнюю часть полупроводника n-Si, и поведение магнитоимпеданса обусловлено процессами  
10 перезарядки поверхностных состояний на границе диэлектрик/полупроводник при приложенном к структуре переменном напряжении.

10

15

20

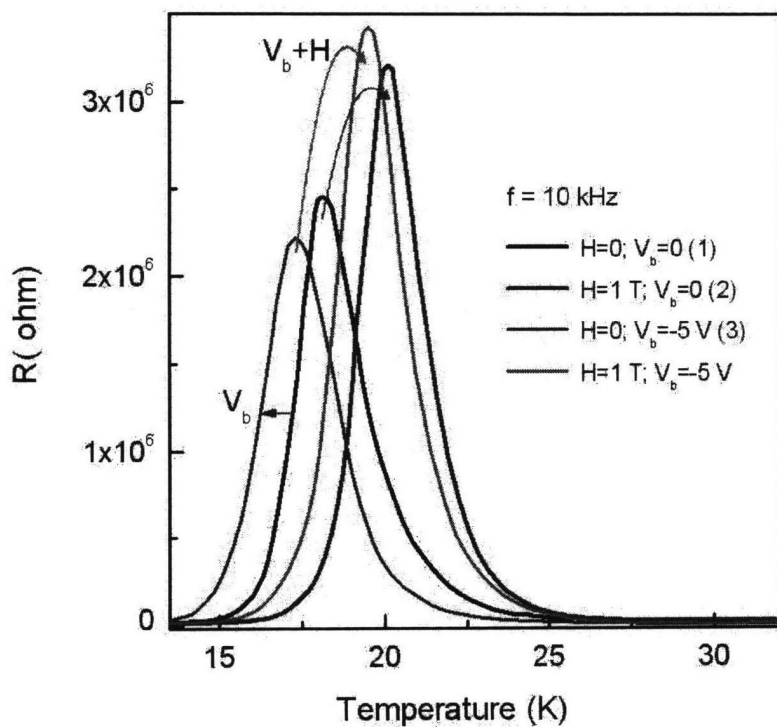
25

30

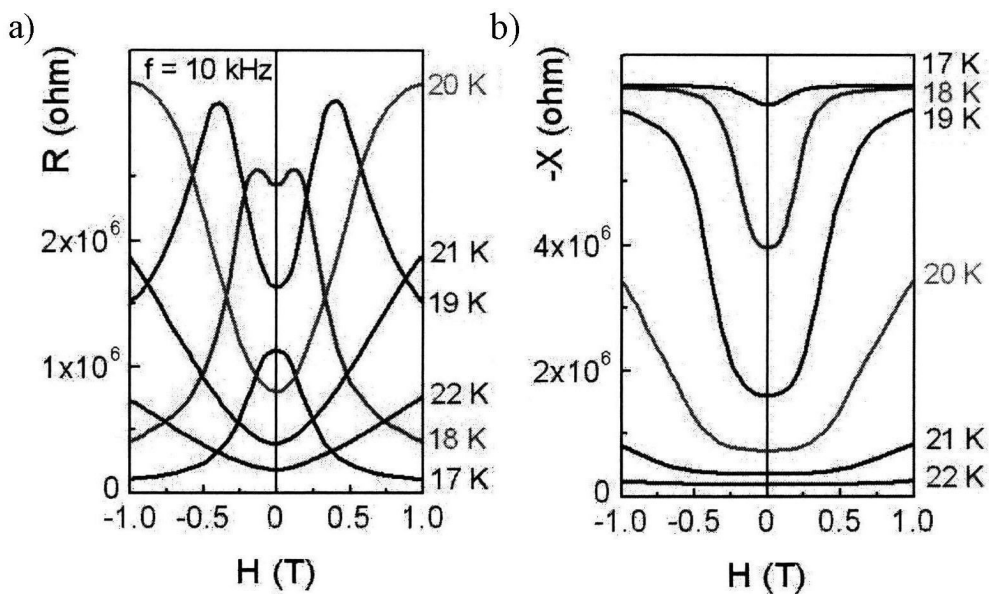
35

40

45

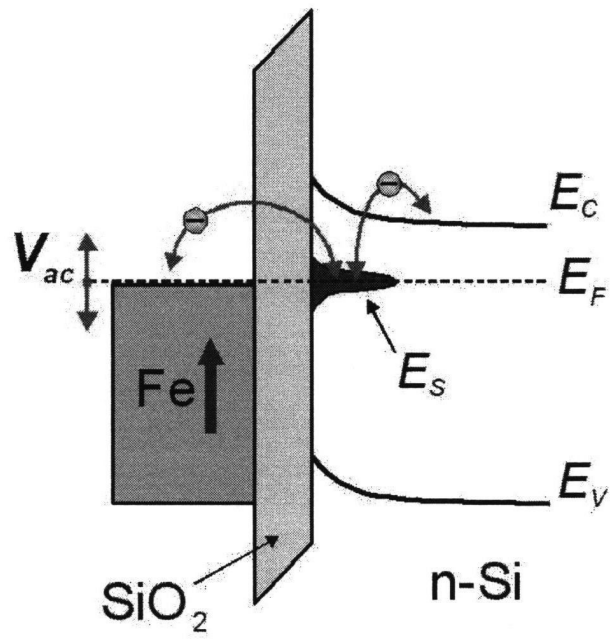


ФИГ.2



ФИГ.3





ФИГ.4