



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: 2007127230/28, 16.07.2007

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
16.07.2007

(45) Опубликовано: 20.02.2009 Бюл. № 5

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: A.A.Tulapurkar, Y.Suzuki, A.Fukushima, H.Kubota, H.Maehara, K.Tsunekawa, D.D.Djayaprawira, N.Watanabe & S.Yuasa. Spin-torque diode effect in magnetic tunnel junctions. Nature (London). V.438, №17, p.339-342, 2005. RU 2280917 C1, 27.07.2006. JP 60187071 A, 24.09.1985. JP 11064476 A, 05.03.1999.

Адрес для переписки:

660036, г.Красноярск, Академгородок, Институт
физики СО РАН, патентный отдел

(72) Автор(ы):

Волков Никита Валентинович (RU),
Еремин Евгений Владимирович (RU),
Цикалов Виталий Сергеевич (RU),
Шайхутдинов Кирилл Александрович (RU),
Петров Михаил Иванович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

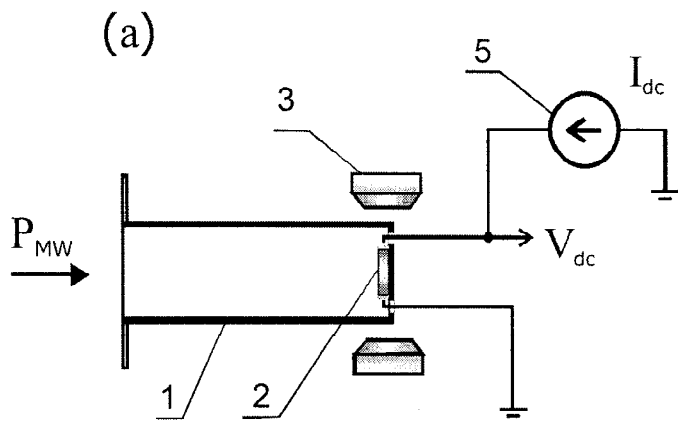
Институт физики им. Л.В. Киренского
Сибирского отделения РАН (RU)

(54) МАГНИТОУПРАВЛЯЕМЫЙ ДЕТЕКТОР СВЧ ИЗЛУЧЕНИЯ

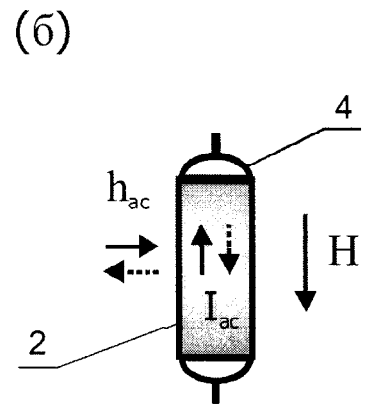
(57) Реферат:

Магнитоуправляемый детектор СВЧ излучения относится к технике СВЧ и может использоваться при создании радиоаппаратуры для связи, радиолокации, в измерительной технике, в научном приборостроении. Магнитоуправляемый детектор СВЧ излучения включает детектирующий элемент на туннельном контакте, находящийся в магнитном поле. Причем детектирующий элемент выполнен из магнитного гранулированного материала с большим набором магнитных туннельных контактов, на который подается ток смещения и

который установлен в пучности магнитной составляющей СВЧ излучения. СВЧ излучение вызывает прецессию намагниченности части гранул, находящихся в условиях ферромагнитного резонанса, и одновременно индуцирует высокочастотный ток в материале. Технический результат: увеличение чувствительности детектора с сохранением его частотно-селективных свойств, управляемых магнитным полем, упрощение конструкции и технологии изготовления детектирующего устройства. 4 ил.



Фиг. 1





FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,
PATENTS AND TRADEMARKS

(51) Int. Cl.
H01J 27/16 (2006.01)

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(21), (22) Application: **2007127230/28**, **16.07.2007**

(24) Effective date for property rights: **16.07.2007**

(45) Date of publication: **20.02.2009 Bull. 5**

Mail address:

**660036, g.Krasnojarsk, Akademgorodok,
Institut fiziki SO RAN, patentnyj otdel**

(72) Inventor(s):

**Volkov Nikita Valentinovich (RU),
Eremin Evgenij Vladimirovich (RU),
Tsikalov Vitalij Sergeevich (RU),
Shajkhutdinov Kirill Aleksandrovich (RU),
Petrov Mikhail Ivanovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Institut fiziki im. L.V. Kirenskogo
Sibirskogo otdelenija RAN (RU)**

(54) MAGNETICALLY OPERATED DETECTOR OF SHF RADIATION

(57) Abstract:

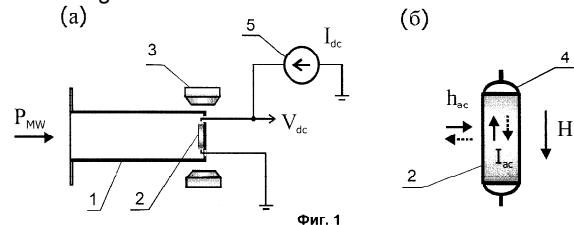
FIELD: physics, measurement.

SUBSTANCE: magnetically operated detector of SHF radiation is related to SHF equipment and may be used in development of radio equipment for communication, radio location, in control instrumentation, in scientific instrument making. Magnetically operated detector of SHF radiation comprises detecting element on tunneling contact located in magnetic field. At that detecting element is made of magnetic granulated material with large set of magnetic tunneling contacts, to which offset current is supplied and which is installed in antinode of SHF radiation magnetic component. SHF radiation causes precession of some granules magnetisation, which are under

effect of ferromagnetic resonance conditions, and at the same time it induces high frequency current in material.

EFFECT: increase of detector sensitivity with preservation of its frequency-selective properties controlled by magnetic field, simplification of design and technology of detecting device manufacture.

4 dwg



Изобретение относится к технике СВЧ и может использоваться при создании радиоаппаратуры для связи, радиолокации, в измерительной технике, в научном приборостроении.

5 Хорошо известны точечные прижимные детекторные диоды СВЧ диапазона [Л.Г.Гасанов, А.А.Липатов, В.В.Марков, Н.А.Могильченко. - М.: Радио и связь, 1988. - 288 с.]. Прижимом заостренной проволоочки из вольфрама к кристаллу кремния формируют переход металл-полупроводник точечного диода. Требуемой вольт-амперной характеристики добиваются индивидуально подбором точки контакта и регулировки силы прижима.

10 Прижимной контакт дает большой разброс параметров перехода, механически ненадежен, диоды чувствительны к вибрациям и ударам. Электрическая прочность диода невелика.

Лучшим вариантом СВЧ детектора в силу своего быстрого действия является диод с барьером Шоттки, получаемый вакуумным напылением металла на полупроводник
15 [В.И.Гаман, Физика полупроводниковых приборов. - Томск: Изд-во НТД 2000. - 426 с.].

Крутизна вольт-амперной характеристики и электрическая прочность такого диода выше, чем у точечного перехода. Высокая повторяемость параметров диода на барьере Шоттки и их стабильность в процессе эксплуатации обеспечиваются современной эпитаксиальной технологией. Диод работает при малом уровне СВЧ сигнала и осуществляет квадратичное
20 детектирование, т.е. величина выпрямленного напряжения пропорциональна квадрату амплитуды СВЧ тока.

К недостаткам этого прибора можно отнести отсутствие у него управляемой частотной селективности, что необходимо для некоторых приложений.

Однако особое внимание привлекают магнитные туннельные контакты, в которых
25 реализуется принципиально новый механизм детектирования высокочастотного тока, основанный на взаимосвязи спиновой динамики и спин-поляризованного транспорта [A.A.Tulapurkar, Y.Suzuki, A.Fukushima, H.Kubota, H.Maehara, K.Tsunekawa, D.D.Djayaprawira, N.Watanabe & S.Yuasa, Spin-torque diode effect in magnetic tunnel junctions. Nature (London) v.438, N17, p.339-342, 2005, (прототип)].

30 Детектирующий элемент представляет собой наноразмерную слоистую структуру - два тонких магнитных слоя с металлической проводимостью (электроды), разделенные диэлектрической прослойкой (туннельный барьер). Магнитные слои характеризуются различными коэрцитивными полями, при выбранном внешнем магнитном поле намагниченность электрода с большей коэрцитивностью (pined-электрод) направлена под
35 определенным углом к направлению поля, намагниченность электрода с меньшей коэрцитивностью (free-электрод) имеет направление, совпадающее с магнитным полем. Если теперь через такую структуру пропускать высокочастотный ток I_{ac} с частотой f , он становится поляризованным по спине благодаря ферромагнитному состоянию электродов. Возникающий момент сил со стороны поляризованных по спине электронов проводимости
40 действует на магнитный момент free-электрода [J.C.Slonczewski, Current-driven excitation of magnetic multilayers. J. Magn. Mater, v.159, p.L1-L7 (1996)], заставляя его прецессировать с частотой f , если она близка к частоте ферромагнитного резонанса free-электрода. Поскольку сопротивление структуры зависит от взаимного направления намагниченностей ее электродов, возникает зависящее от времени
45 сопротивление $R(t)$. Усреднение переменной составляющей напряжения $I_{ac} \cdot R(t)$ по времени за период высокочастотного тока дает отличное от нуля выпрямленное напряжение.

К недостаткам описанного детектора следует отнести: не очень высокую чувствительность детектора по сравнению с полупроводниковыми диодами,
50 используемыми в настоящее время; сложность технологии изготовления прибора - очень высокие требования к точности и качеству изготовления наноразмерного туннельного контакта.

Технический результат изобретения заключается в увеличении чувствительности

детектора с сохранением его частотно-селективных свойств, управляемых магнитным полем; в упрощении конструкции и технологии изготовления детектирующего устройства.

Указанный технический результат достигается тем, что в магнитоуправляемом детекторе СВЧ излучения, включающем детектирующий элемент на туннельном контакте, находящийся в магнитном поле, новым является то, что детектирующий элемент выполнен из магнитного гранулированного материала с большим набором магнитных туннельных контактов, на который подается ток смещения и который установлен в пучности магнитной составляющей СВЧ излучения, последний вызывает прецессию намагниченности части гранул, находящихся в условиях ферромагнитного резонанса, и одновременно индуцирует высокочастотный ток в материале.

В заявляемом магнитоуправляемом детекторе СВЧ излучения в качестве детектирующего элемента, находящегося в магнитном поле, используется не одиночная магнитная туннельная структура, как в прототипе, а магнитный гранулированный материал, в котором реализуется большой набор магнитных туннельных контактов - пар ферромагнитных гранул с металлической проводимостью, разделенных тонкими диэлектрическими прослойками; детектирующий элемент располагается в пучности магнитной составляющей СВЧ излучения; магнитная составляющая СВЧ излучения вызывает прецессию намагниченности части гранул, находящихся в условиях ферромагнитного резонанса, и одновременно индуцирует высокочастотный ток в материале, выпрямление которого и происходит на туннельных контактах в материале; в конструкции также предусмотрена возможность устанавливать постоянный ток смещения через детектирующий элемент, что увеличивает чувствительность детектирующего устройства.

Сопоставительный анализ с прототипом показывает, что заявляемое устройство отличается тем, что в качестве детектирующего элемента используется принципиально новый материал - гранулированная магнитная среда; устройство устанавливается в пучности магнитного СВЧ поля, что позволяет отказаться от специальных конструктивных элементов для возбуждения высокочастотного тока в детектирующем элементе; кроме того, магнитное СВЧ поле, а не ток вызывает прецессию намагниченности отдельных гранул, формирующих магнитные туннельные контакты, приводя к зависящему от времени сопротивлению материала и, как следствие, к эффекту детектирования высокочастотного тока; включение постоянного тока смещения увеличивает чувствительность прибора. Таким образом, заявляемое устройство соответствует критерию изобретения «новизна». При изучении других известных технических решений в данной области техники признаки, отличающие заявляемое изобретение от прототипа, не были выявлены, и потому они обеспечивают заявляемому техническому решению соответствие критерию «изобретательский уровень».

На Фиг.1 представлена конструкция магнитоуправляемого детектора СВЧ излучения (а): распределение статического H , высокочастотного h_{ac} полей и высокочастотного тока I_{ac} в детектирующем элементе; (б): 1 - короткозамкнутая линия передачи; 2 - детектирующий элемент; 3 - электромагнит; 4 - контактные площадки; 5 - источник тока смещения. На фиг.2 дан схематический рисунок двух соседних гранул, образующих магнитный туннельный контакт, поясняющий механизм детектирования. S_i и S_j обозначают единичные векторы вдоль направления намагниченностей i -й и j -й гранул grains; в поле H S_i имеет фиксированное направление, для S_j выполняются резонансные условия и он прецессирует с частотой f . На Фиг.3 дана зависимость детектируемого напряжения на детекторе от внешнего магнитного поля. Детектирующий элемент - гранулированный образец $La_{0.7}Ca_{0.3}MnO_3$. Температура $T=20$ К, ток смещения $I_{dc}=0$. На Фиг.4 представлена зависимость детектируемого напряжения на детекторе от внешнего магнитного поля при различных величинах тока смещения I_{dc} . Детектирующий элемент - гранулированный образец $La_{0.7}Ca_{0.3}MnO_3$. Температура $T=20$ К.

Магнитоуправляемый детектор СВЧ излучения содержит: короткозамкнутую линию передачи 1; детектирующий элемент 2, который изготавливается из магнитного

гранулированного материала в виде тонкой пластинки (фиг.1а). Детектирующий элемент устанавливается на короткозамыкающей стенке линии передачи в пучности магнитного высокочастотного поля h_{ac} , которое, в свою очередь, индуцирует высокочастотный ток I_{ac} в детектирующем элементе, фиг.1 (б). Постоянное магнитное поле H создается электромагнитом 3. С помощью контактных площадок 4 к пластинке детектирующего элемента крепятся проводники, служащие для снятия детектирующего напряжения V_{dc} и подачи тока смещения I_{dc} на детектирующий элемент от источника тока 5.

Чувствительный элемент представляет собой материал, в котором реализуется протяженная сеть магнитных туннельных контактов, образованных ферромагнитными гранулами с металлической проводимостью с тонкой диэлектрической прослойкой между ними.

Сам механизм выпрямления высокочастотного тока в системе магнитных туннельных контактов проиллюстрирован на фиг.2 на примере одного контакта, образованного двумя гранулами. Каждая из гранул имеет свое коэрцитивное поле и, следовательно, поведение статической намагниченности и резонансные условия будут различаться для разных гранул. При определенной величине магнитного поля H , направление которого совпадает с линиями высокочастотного тока, магнитный момент i -й гранулы направлен под углом α к магнитному полю, а j -я гранула находится при резонансных условиях и ее момент прецессирует с частотой f вокруг направления внешнего магнитного поля. Эта прецессия вызывает временную зависимость сопротивления магнитного туннельного перехода

$$R(t) = R_{\uparrow\uparrow} + \frac{\Delta R}{2} \left(1 - \hat{s}_i \cdot \hat{s}_j \right), \quad (1)$$

здесь \hat{s}_i и \hat{s}_j единичные векторы вдоль намагниченностей i -й и j -й гранул

соответственно;

равновесное направление \hat{s}_i определяется как

$$\hat{s}_i = \left(\hat{e}_x \cos \phi + \hat{e}_y \sin \phi \right) \sin \alpha + \hat{e}_z \cos \alpha$$

где ϕ - угол между проекцией \hat{s}_i на плоскость xu и \hat{e}_x ,

$$\hat{s}_j \text{ прецессирует как } \hat{s}_j = \left(\hat{e}_x \cos(2\pi ft) + \hat{e}_y \sin(2\pi ft) \right) \sin \theta + \hat{e}_z \cos \theta \quad (\theta - \text{угол}$$

прецессии);

$R_{\uparrow\uparrow}$ - сопротивление перехода в состоянии, когда \hat{s}_j и \hat{s}_i параллельны,

$\Delta R = R_{\uparrow\downarrow} - R_{\uparrow\uparrow}$ - увеличение сопротивления при изменении состояния на антипараллельное. Поскольку высокочастотное магнитное поле h_{ac} индуцирует высокочастотный ток

$$I(t) = I_{ac} \sin(2\pi ft - \delta) \quad (\delta \text{ is a possible phase shift between the oscillating } \hat{s}_j \text{ and } I), \text{ протекающий}$$

через туннельный контакт, то напряжение на контакте $V(t) = I(t)R(t)$ должно содержать член, включающий перемешивание I_{ac} и $\Delta R(t)$. Выпрямленное напряжение получаем усреднением по периоду колебаний

$$V_{dc} = \langle I(t)R(t) \rangle_T = \frac{I_{ac} \Delta R}{4} \sin \theta \sin \alpha \cos(\phi - \delta). \quad (2)$$

Описанный механизм выпрямления имеет простое качественное объяснение.

Высокочастотный ток и прецессия \hat{s}_j индуцируются h_{ac} и, следовательно, имеют одну и ту

же частоту f , пусть для простоты $\phi - \delta = 0$, тогда сопротивление для тока, текущего из i -й в j -ю гранулу, будет меньше из-за меньшего угла между \hat{s}_i и \hat{s}_j , но для противоположного

направления тока будет больше благодаря большему углу. Очевидно, что усреднение $V(t)$ по периоду приведет к ненулевой величине выпрямленного напряжения V_{dc} .

Для всего гранулированного образца, в котором реализуется случайная сеть магнитных туннельных контактов, выпрямленное напряжение - интегральный сигнал, получающийся в результате суммирования по всем контактам. Магнитные туннельные контакты не идентичны, и различия в их характеристиках описываются определенными функциями распределения. Поведение V_{dc} в зависимости от магнитного поля определяется функцией распределения для резонансных полей индивидуальных гранул, участвующих в формировании туннельных магнитных контактов.

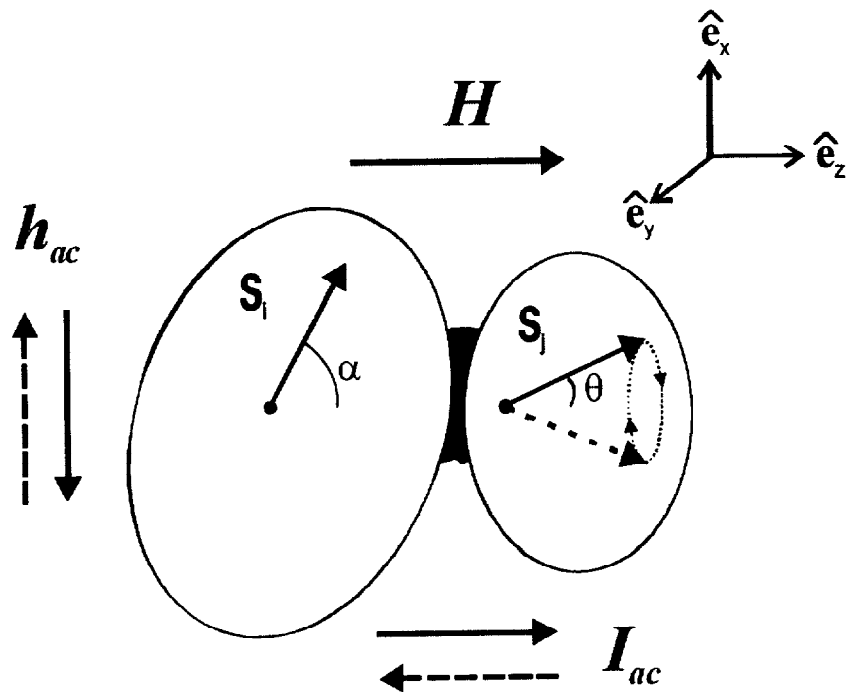
Ток смещения I_{dc} , величину которого можно регулировать, приводит к асимметрии туннельных контактов: увеличение I_{dc} вызывает понижение уровня Ферми одной из гранул по отношению к другой на величину eV_b , где e - заряд электрона, а V_b - соответствующее падение напряжения на контакте. В этих условиях вероятность туннелирования электронов в прямом и обратном направлении через контакт будет различаться, т.е. фактически будет различаться сопротивление контакта для тока, текущего в прямом R_F и обратном R_B направлениях. Формально это можно учесть, полагая, что $R_{\uparrow\uparrow}$, $R_{\uparrow\downarrow}$ и, следовательно, ΔR в уравнении (1) зависит от направления высокочастотного тока в переходе. Простой анализ показывает, что увеличение тока смещения приведет к увеличению V_{dc} на отдельном контакте и, как следствие, на всем гранулированном образце.

Устройство работает следующим образом. Электромагнитное излучение с частотой f , попадая в детектирующее устройство, индуцирует на детектирующем элементе постоянное напряжение V_{dc} . Внешнее магнитное поле позволяет регулировать чувствительность детектора, так на фиг.3 показана зависимость выпрямленного напряжения на детекторе V_{dc} с детектирующим элементом на основе гранулированного образца $La_{0.7}Ca_{0.3}MnO_3$, магнитного поля H , возможно использование и гранулированных сплавов металл-диэлектрик на основе $Co-Al-O$; $Fe-Al-O$. Включение тока смещения через детектирующий элемент позволяет также регулировать чувствительность детектора: при фиксированной мощности СВЧ излучения увеличение I_{dc} до 2 мА приводит к увеличению V_{dc} в 20 раз, фиг.4. При этом смещение не оказывает влияние на характер зависимости выпрямленного напряжения V_{dc} от магнитного поля.

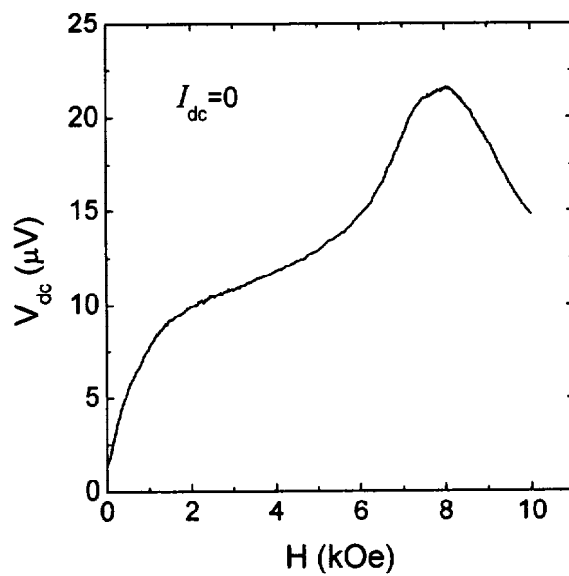
Учитывая, что в соответствии с механизмом детектирования зависимость V_{dc} от магнитного поля определяется распределением резонансных полей гранул детектирующего элемента, для разных частот СВЧ излучения максимум чувствительности детектора будет наблюдаться при разных магнитных полях. Таким образом, появляется возможность выбором внешнего магнитного поля регулировать частотную селективность детектора.

Формула изобретения

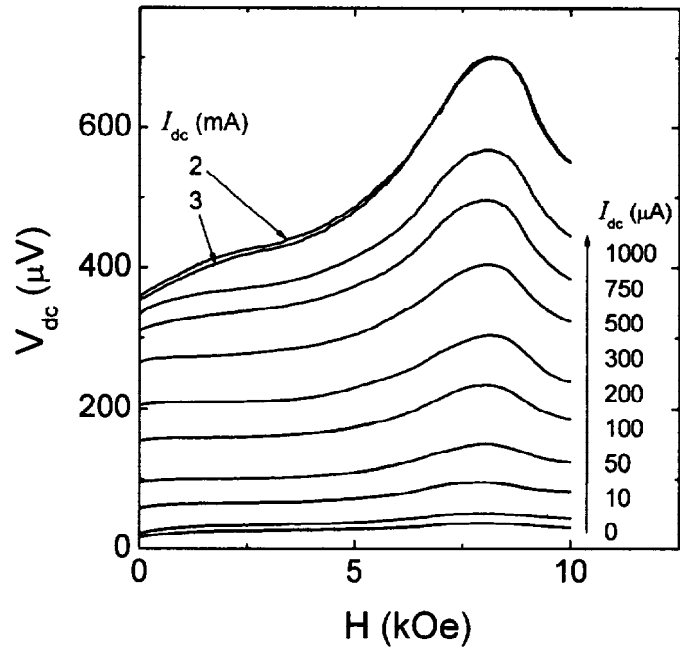
Магнитоуправляемый детектор СВЧ излучения, включающий детектирующий элемент на туннельном контакте, находящийся в магнитном поле, отличающийся тем, что детектирующий элемент выполнен из магнитного гранулированного материала с большим набором магнитных туннельных контактов, на который подается ток смещения и который установлен в пучности магнитной составляющей СВЧ излучения, последний вызывает прецессию намагниченности части гранул, находящихся в условиях ферромагнитного резонанса, и одновременно индуцирует высокочастотный ток в материале.



Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4