



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
H01L 27/18 (2018.08)

(21)(22) Заявка: 2018144420, 14.12.2018

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
14.12.2018

Дата регистрации:
19.03.2019

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 14.12.2018

(45) Опубликовано: 19.03.2019 Бюл. № 8

Адрес для переписки:

603950, г. Нижний Новгород, Бокс-120, ул.
Ульянова, 46, ИПФ РАН, патентная группа,
Кузнецовой Л.О.

(72) Автор(ы):

Вопилкин Евгений Александрович (RU),
Краев Станислав Алексеевич (RU),
Ревин Леонид Сергеевич (RU),
Панкратов Андрей Леонидович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
научное учреждение "Федеральный
исследовательский центр Институт
прикладной физики Российской академии
наук" (ИПФ РАН) (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: E. A. Vopilkin, A. V. Chiginev, L. S.
Revin, A. N. Tropanova, I. Yu. Shuleshova, A.
I. Okhapkin, A. D. Shovkun, A. B. Kulakov and
A. L. Pankratov, Quick and reliable technology
for fabrication of stand-alone BSCCO mesas,
Supercond. Sci. Technol. 28, 2015. JP 4772193
B2, 14.09.2011. JP 7235700 A, 05.09.1995. JP
2002246665 A, 30.08.2002. US 6605225 (см.
прод.)

(54) Одиночная излучательная ВТСП мезоструктура на основе соединений висмута

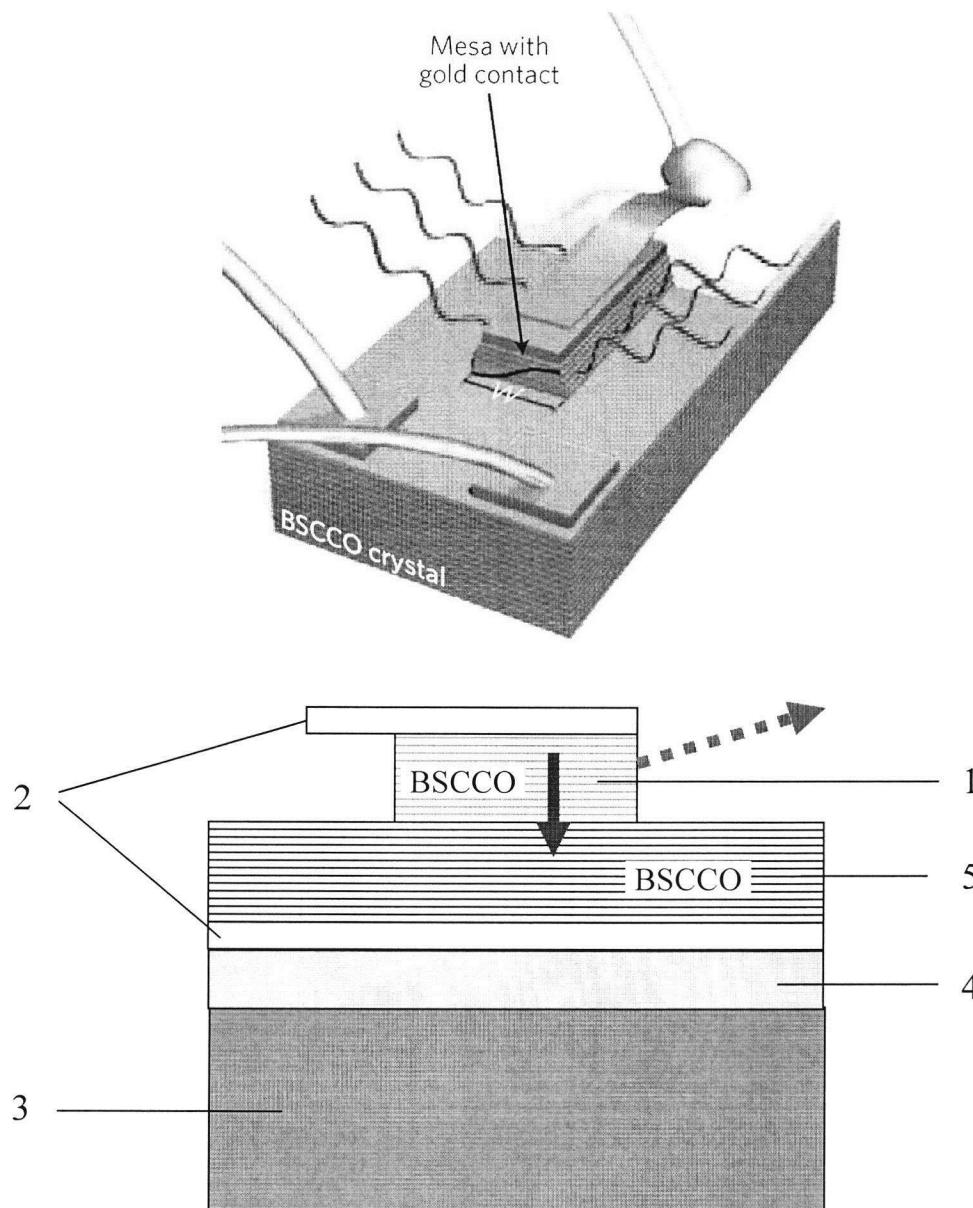
(57) Реферат:

Использование: для создания излучательной ВТСП мезоструктуры на основе соединений висмута. Сущность полезной модели заключается в том, что излучательная ВТСП мезоструктура на основе соединений висмута состоит из излучающей части мезоструктуры, золотых или серебряных контактных площадок и подложки

толщиной от 20 мкм и более, выполненной из не являющегося сверхпроводником металла с высокой теплопроводностью, наращенного на одну из контактных площадок. Технический результат: обеспечение возможности улучшения теплоотвода, что обеспечивает стабильную работу мезоструктуры. 8 ил.

1
U
9
1
8
7
7
9
U
R

R
U
1
8
7
7
9
U
1



Фиг. 1

(56) (продолжение):
В1, 12.08.2003.

Настоящая полезная модель относится к области микроэлектроники, а именно к планарным структурам на основе кристаллических пленок проводников, в том числе и сверхпроводников, т.е. к конструктивным элементам схемы, сформированным на общей подложке, и представляющих собой проводящие компоненты.

- 5 Аналогами данной структуры являются излучательные мезоструктуры субтерагерцового и терагерцового диапазонов, изготовленные из слоистого высокотемпературного сверхпроводника (ВТСП) на основе соединений висмута BSCCO. Принцип работы таких излучательных мезоструктур основан на внутреннем (intrinsic) эффекте Джозефсона [U. Welp, K. Kadowaki, R. Kleiner, *Nature Photonics*, 7, 702 (2013)]
- 10 между слоями сверхпроводника BSCCO. Физические свойства (механические и электрические) данного сверхпроводника являются сильно анизотропными. Строение кристалла BSCCO представляет собой набор проводящих монослоев, слабо связанных между собой механически и электрически. В состоянии сверхпроводимости эти слои связаны Джозефсоновской связью. Другими словами, слои CuO такого материала
- 15 образуют последовательную цепочку джозефсоновских переходов, сформированных на атомарном масштабе. При протекании электрического тока вдоль оси "с" кристалла сверхпроводника (поперек слоев) в режиме превышения критического тока возникает Джозефсоновское излучение. Для получения такого излучения формируют мезоструктуры из монокристалла сверхпроводника BSCCO, в которых ток может течь
- 20 только по оси "с" поперек слоев. Излучение из таких структур имеет дипольный характер и распространяется в стороны перпендикулярно оси "с".

- Такие мезоструктуры существуют трех типов: мезоструктура на пьедестале (Welp U., Kadowaki K., Kleiner R. *Superconducting emitters of THz radiation* // *Nature Photonics*. -2013. - Vol.7, №. 9. - P. 702-710; см. фиг. 1), мезоструктура на двух пьедесталах (см.,
- 25 например, Gross B., Rudau F., Kinev N., Tsujimoto M., Yuan J., Huang Y., Ji M., Zhou X.J., An D.Y., Ishii A., Wu PH., Hatano T., Koelle D., Wang H.B., Koshelets V.P., Kleiner R. *Electrothermal behavior and terahertz emission properties of a planar array of two* Bi₂Sr₂CaCu₂₀g+5 *intrinsic Josephson junction stacks* // *Supercond. Sci. Technol.* - 2015. - Vol. 28, №5. -10 p.; см. фиг. 2) и одиночная мезоструктура, которая выбрана в качестве
- 30 прототипа (см. фиг. 3).

- Мезоструктуры 1-го и 2-го типа (на пьедестале) изготавливаются методом травления и резки сфокусированным ионным пучком (Focused Ion Beam, далее - FIB). Мезоструктуры 3-го типа (одиночные) могут быть изготовлены как травлением и резкой FIB, так и скальванием кристалла до нужного размера с последующим монтажом.
- 35 При этом кристалл BSCCO приклеивается эпоксидным или проводящим клеем к подложке, обычно кремниевой или сапфировой.

- При таком подходе характеристики создаваемых мезоструктур в ряде случаев оказываются ниже оптимальных. Например, известно, что одной из важных проблем таких мезоструктур является проблема создания контактов на поверхности BSCCO.
- 40 Эта проблема вызвана очень низкой механической прочностью кристаллов BSCCO. На мезоструктурах 1 -го и 2-го типов провода приклеиваются проводящим клеем к золотым или серебряным контактным площадкам, напыленным на поверхность пьедесталов (фиг. 1, фиг. 2). Такие мезоструктуры, 1-го и 2-го типов, имеют принципиально неустранимый недостаток: пьедестал вблизи излучающей части
- 45 мезоструктуры препятствует выводу излучения из нее, что существенно снижает мощность излучения структуры.

Самой существенной проблемой данных мезоструктур является проблема недостаточного теплоотвода. При перегреве мезоструктура выходит из излучающего

режима. Сам материал сверхпроводника BSCCO обладает низкой теплопроводностью, как и клей, на котором он фиксируется на подложке. Организовать эффективный теплоотвод на мезоструктурах 1-го и 2-го типа сложно, так как излучающая часть мезоструктуры стоит на основании массивного кристалла BSCCO, обладающего низкой теплопроводностью. Организовать эффективный теплоотвод на мезоструктурах 3-го типа также довольно сложно, так как излучающая часть мезоструктуры приклеивается на подложку kleem с низкой теплопроводностью. Теплоотвод через электрические провода также неэффективен, поскольку провода приклеиваются к контактным площадкам проводящим kleem с низкой теплопроводностью.

10 Задачей, на решение которой направлена настоящая полезная модель, является создание на основе BSCCO излучательной структуры с улучшенным теплоотводом.

Технический результат достигается тем, что одиночная излучательная ВТСП мезоструктура на основе соединений висмута состоит из излучающей части мезоструктуры, размещенной между золотыми либо серебряными контактными 15 площадками, и подложки.

Новым является то, что подложка толщиной от 20 мкм и более выполнена из не являющегося сверхпроводником металла с высокой теплопроводностью, наращенного на одну из контактных площадок.

Полезная модель поясняется следующими чертежами.

20 На фиг. 1, фиг. 2 и фиг. 3 представлены конструкции известных из литературы излучательных мезаструктур на основе BSCCO. Здесь 1 - излучающая часть мезоструктуры; 2 - золотые или серебряные контактные площадки; 3 - подложка; 4 - kleевой слой; 5 - пьедестал(ы). Сплошной стрелкой показано направление тока, прерывистой - направление вывода излучения.

25 На фиг. 4. Представлена конструкция предлагаемой в данной заявке мезоструктуры: 1 - излучающая часть мезоструктуры; 2 - золотые или серебряные контактные площадки; 3 - подложка.

На фиг. 5. представлен вариант изготовления предлагаемой одиночной излучательной ВТСП мезаструктуры BSCCO, включающий этапы: а - скальвание, 6 - напыление золота, в - напыление меди, г - гальваническое наращивание меди, д - скальвание, е - напыление золота, ж - литография и травление.

На фиг.6 приведены фотографии поверхностей пластины в процессе изготовления одиночной излучательной ВТСП мезаструктуры BSCCO до литографии и травления. Сверху слой золота толщиной 50 нм, снизу слой меди толщиной 30 мкм.

35 На фиг.7 приведены фотографии поверхности пластины с фиг.6 после формирования мезаструктур и монтажа держателя и верхних прижимных контактов.

На фиг.8 приведены вольтамперные характеристики изготовленных одиночных излучательных ВТСП мезаструктур при температуре $T = 4, 6, 15, 20$ и 30 К. По горизонтальной оси отложено напряжение в вольтах, по вертикальной - ток в

40 миллиамперах.

Как видно из фиг. 4, предлагаемая одиночная излучательная ВТСП мезоструктура на основе соединений висмута состоит из излучающей части мезоструктуры 1, размещенной между золотыми либо серебряными контактными площадками 2, на одну из которых наращена подложка 3 толщиной от 20 мкм и более из не являющегося сверхпроводником металла с высокой теплопроводностью (например, как дешевый 45 вариант - из меди).

Изготавливают предлагаемую одиночную излучательную ВТСП мезоструктуру на основе соединений висмута следующим образом. На поверхности излучательной части

мезоструктуры 1 формируется толстый (десятки мкм) слой металла с хорошей адгезией. Для этого на одной из сколотых поверхностей монокристалла сверхпроводника BSCCO методом термической распылении в вакууме формируется пленка из золота толщиной от 30 до 50 нм, которая образует одну из контактных площадок 2. Для получения

- 5 электрического и теплового контакта поверх нее, *in situ*, напыляется тем же методом из не являющегося сверхпроводником металла с высокой теплопроводностью слой толщиной от 2 до 3 микрометров. Далее поверх этого слоя методом гальванопластики наращивается из не являющегося сверхпроводником металла с высокой 10 теплопроводностью слой толщиной от 20 микрометров, образуя подложку 3. Подложка 15 3 по сути сама является электрическим контактом, что избавляет от необходимости использовать клей при монтаже к ней проводов. В частности, вместо проводящего клея можно использовать микросварку. Также подложка 3 является в дальнейшем основой прочности мезоструктуры, что позволяет ей манипулировать без риска механического разрушения. Но самое главное - подложка 3 является мощным теплоотводом, что 20 позволяет быстро термостабилизировать структуру и решить проблему перегрева.

Возможность создания предлагаемой излучательной мезоструктуры BSCCO можно рассмотреть на одном из частных примеров, который был осуществлен на практике авторами предложенной полезной модели. Данный пример иллюстрирует один из возможных вариантов создания предлагаемой мезоструктуры, но не ограничивает 25 других возможных вариантов ее создания.

Вариант изготовления предлагаемой подложки на поверхности монокристалла BSCCO и затем одиночных мезаструктур на основе BSCCO, представленный на фиг. 5, состоит из следующих этапов.

а. На монокристаллической пластине BSCCO производится механическое скальвание 25 верхнего слоя кристалла для получения чистой и гладкой поверхности. Скальвание производится непосредственно перед помещением кристалла в реактор для напыления золота.

б. На монокристаллическую пластину BSCCO осаждается слой золота. В данном 30 варианте технологического маршрута золото выбрано как стандартный материал, используемый при получении контактов к BSCCO. Толщина этого слоя находится в диапазоне 30-50 нм.

в. На монокристаллическую пластину BSCCO поверх осажденного слоя золота 35 осаждается *in situ* слой меди. Этот слой меди играет роль затравочного слоя при последующем гальваническом наращивании меди. Толщина этого слоя находится в диапазоне 2,5-3,5 мкм.

г. Нарашивание поверх затравочного слоя толстого слоя меди методом гальванопластики. Толщина этого слоя находится в диапазоне 25-35 мкм.

д. На обратной от подложки стороне монокристаллической пластины BSCCO 40 производится механическое скальвание верхнего слоя кристалла для получения чистой и гладкой поверхности. Скальвание производится непосредственно перед помещением кристалла в реактор для напыления золота.

е. На обратную от подложки сторону монокристаллической пластины BSCCO осаждается слой золота. В данном варианте технологического маршрута золото выбрано 45 как стандартный материал, используемый при получении контактов к BSCCO. Толщина этого слоя находится в диапазоне 30 - 50 нм.

ж. Формирование мезаструктур. На обратной от подложки стороне монокристаллической пластины BSCCO поверх нанесенного слоя золота методом фотолитографии производится формирование фоторезистивной маски с рисунком

будущей мезаструктуры, с последующим жидкостным травлением золота и BSCCO. После чего производится удаление фоторезиста. В результате получается набор одиночных мезаструктур с золотыми контактными площадками сверху. Подложка является общим электрическим контактом снизу.

5 В качестве демонстрации возможностей предлагаемого варианта была изготовлена пластина покрытого золотом BSCCO на металлической подложке. На фиг.6. показано изображение этой пластины с двух сторон: сверху - покрытая золотом верхняя плоскость, снизу - подложка из меди. На верхней стороне была сформирована серия одиночных мезаструктур диаметром 350 мкм. Толщина BSCCO составила 12 мкм. На 10 фиг.7 сверху показано изображение пластины с мезаструктурами. Снизу слева показана часть пластины, смонтированная в держателе. Снизу справа показаны прижимные проволочные контакты к мезаструктурам.

15 Плотность критического тока полученных мезоструктур (см. фиг. 8) составила величину $30-70 \text{ A} \times \text{cm}^{-2}$ при температуре $T = 10 \text{ K}$, что близко к лучшим результатам, хорошо известным из литературы.

20 В результате получены многочисленные одиночные излучательные ВТСП мезаструктуры BSCCO с высокими электрофизическими параметрами, а примененная в процессе изготовления фотолитография значительно дешевле процессов резки ионным пучком или механического скальвания одиночных структур, используемых для формирования мезаструктур в аналогах.

(57) Формула полезной модели

Одиночная излучательная ВТСП мезоструктура на основе соединений висмута, состоящая из излучающей части мезоструктуры, размещенной между золотыми либо 25 серебряными контактными площадками, и подложки, отличающаяся тем, что подложка толщиной от 20 мкм и более выполнена из не являющегося сверхпроводником металла с высокой теплопроводностью, наращенного на одну из контактных площадок.

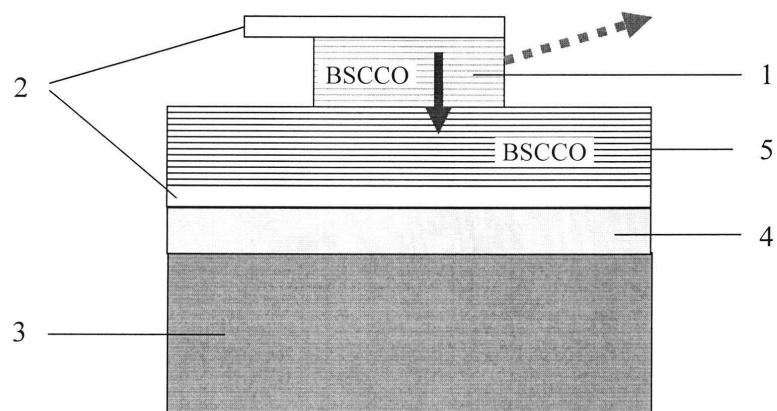
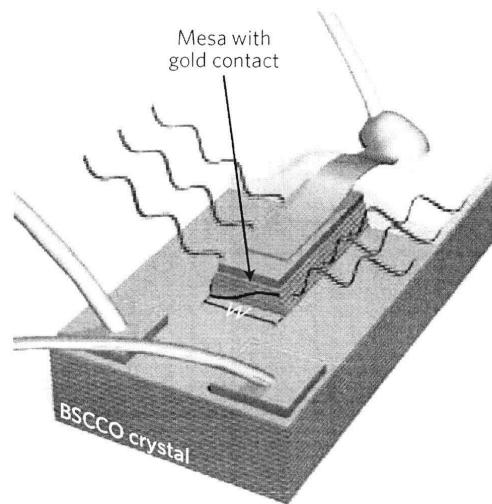
30

35

40

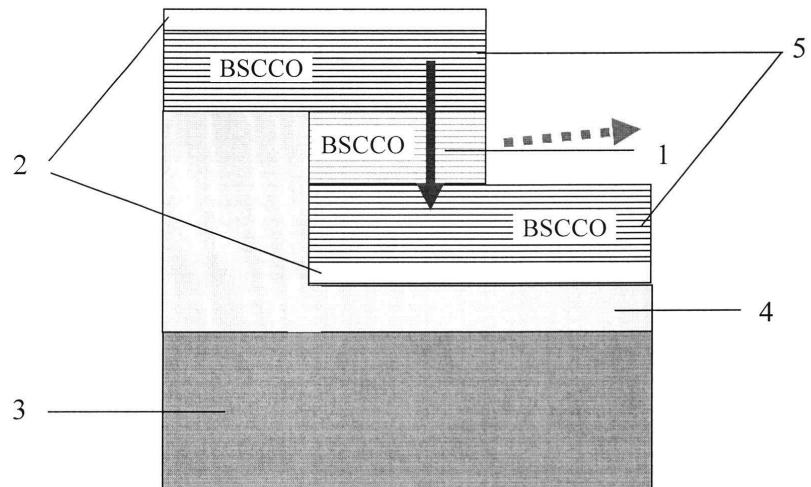
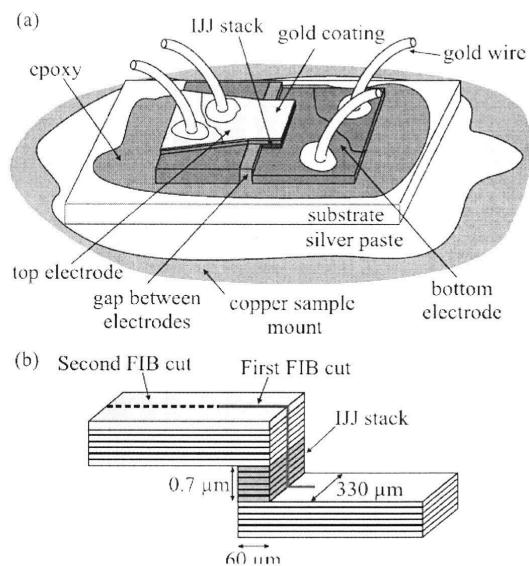
45

Одиночная излучательная ВТСП мезоструктура на основе соединений висмута



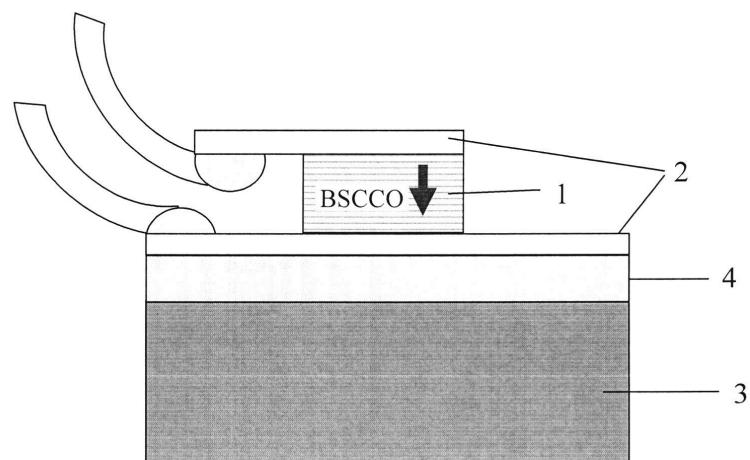
Фиг. 1

Одиночная излучательная ВТСП мезоструктура на основе соединений висмута



Фиг. 2

Одиночная излучательная ВТСП мезоструктура на основе соединений висмута

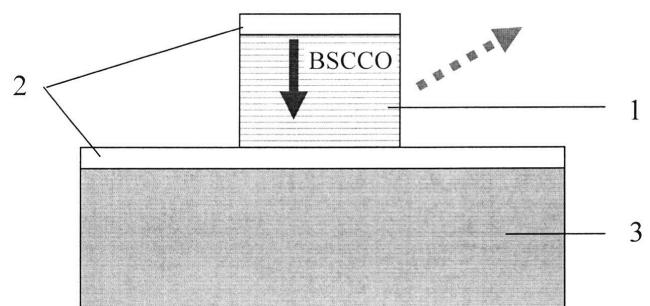


Фиг. 3

3

4

Одиночная излучательная ВТСП мезоструктура на основе соединений висмута

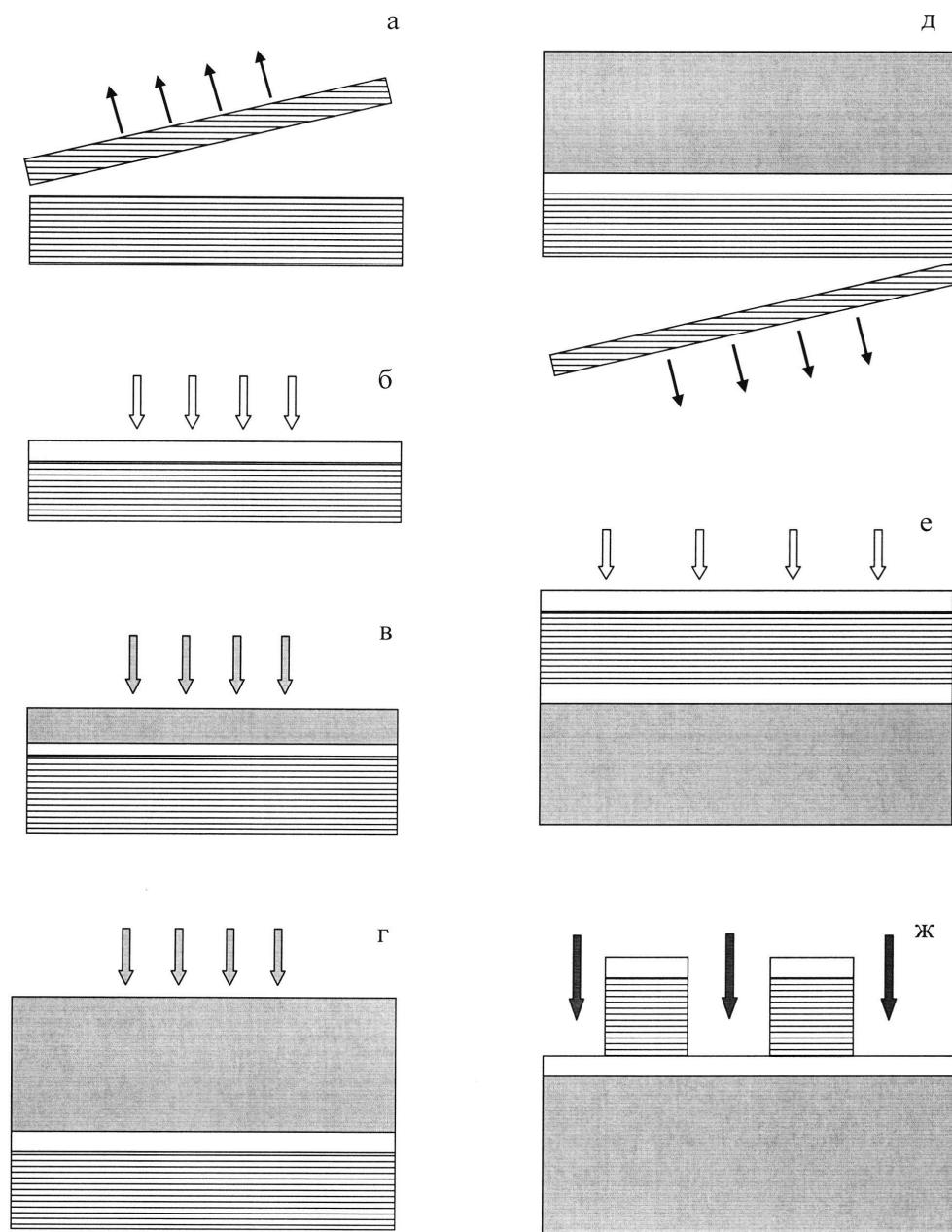


Фиг. 4

4

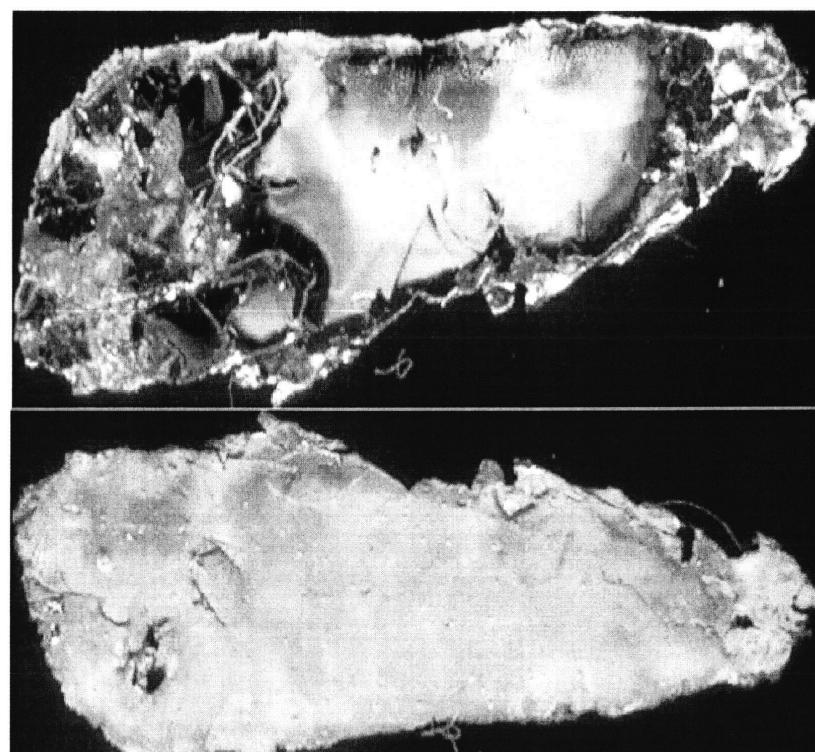
5

Одиночная излучательная ВТСП мезоструктура на основе соединений висмута



Фиг. 5

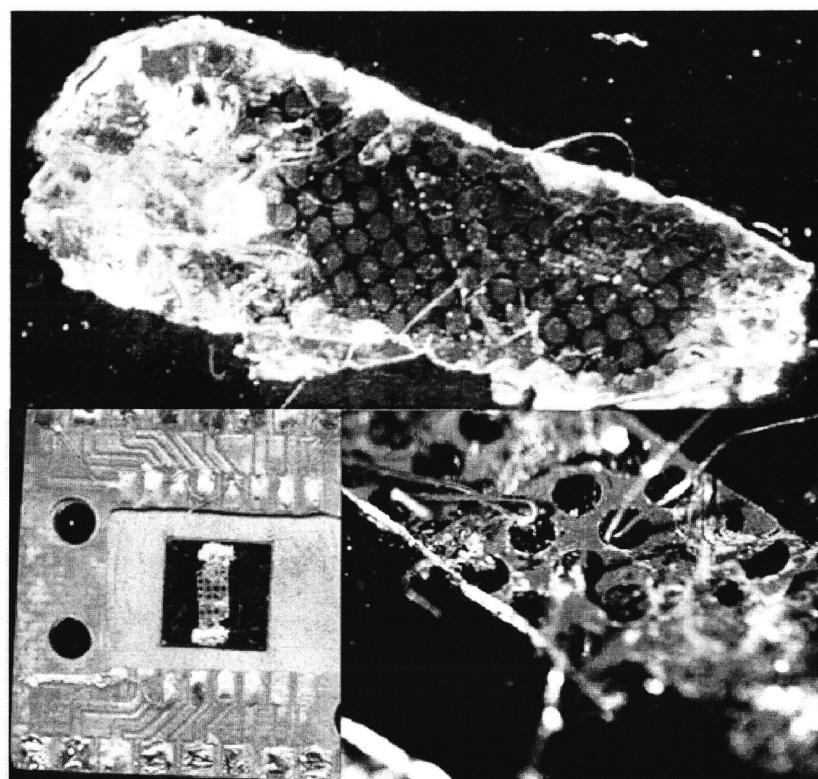
Одиночная излучательная ВТСП мезоструктура на основе соединений висмута



Фиг. 6

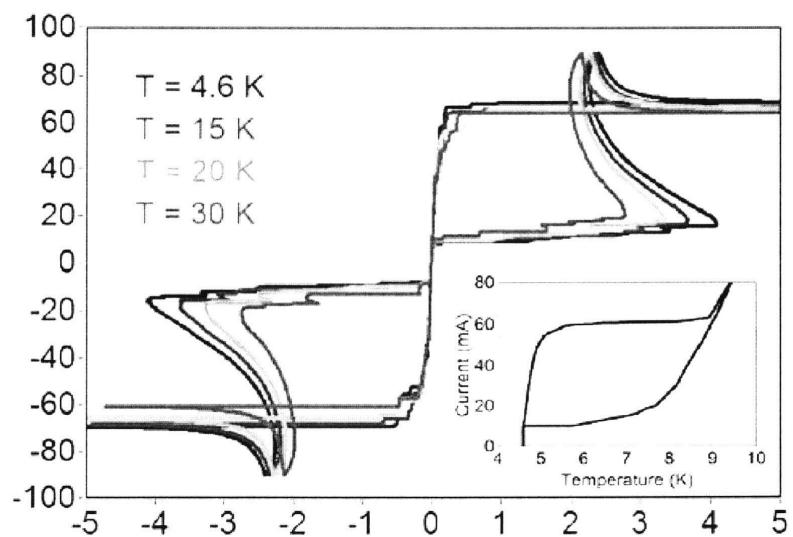
6

Одиночная излучательная ВТСП мезоструктура на основе соединений висмута



Фиг. 7

Одиночная излучательная ВТСП мезоструктура на основе соединений висмута



Фиг. 8