



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ(21)(22) Заявка: **2010126531/28**, **29.06.2010**(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
29.06.2010

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: **29.06.2010**(45) Опубликовано: **10.02.2012** Бюл. № 4(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: **Dolan G.J. Offset masks for lift-off photoprocessing. Appl. Phys. Lett. 31, (1977), p.337-339. JP 2007227407 A, 06.09.2007. US 6365912 B1, 02.04.2002. DE 4302769 A1, 04.08.1994. RU 2107973 C1, 27.03.1998. SU 1602301 A1, 20.05.1996.**

Документ находится в Патентном отделе

ОКБ АСТРОН140081, Московская область, г.Лыткарино,
ул.Парковая, д.1**(54) СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ УСТРОЙСТВ С ТОНКОПЛЕНОЧНЫМИ СВЕРХПРОВОДНИКОВЫМИ ПЕРЕХОДАМИ**

(57) Реферат:

Изобретение относится к области сверхпроводниковой микроэлектроники, в частности к изготовлению сверхпроводниковых туннельных переходов, джозефсоновских переходов, структур типа сверхпроводник-изолятор-сверхпроводник (СИС), структур сверхпроводник-изолятор-нормальный металл (СИН), болометров на холодных электронах. Сущность изобретения: в способе изготовления устройств с тонкопленочными сверхпроводниковыми переходами, состоящем из нанесения поддерживающего и основного резиста, экспозиции, проявления этих слоев резиста, напыления первого слоя нормального металла или сверхпроводника под прямым углом к подложке, окисления для формирования туннельного барьера, напыления второго слоя пленки сверхпроводника под углом к нормали,

взрывания резиста, напыление верхней пленки сверхпроводника производится под двумя разными углами $+\varphi$ и $-\varphi$ с разных сторон от нормали так, что обе пленки сверхпроводника перекрывают необходимый зазор и образуют единый сверхпроводящий слой, между нормальным металлом и сверхпроводником формируется туннельный контакт, при этом углы нанесения выбирают по формуле $\text{tg}\varphi \leq t/(L+w)$, где $t=t_1+t_2$ суммарная толщина двухслойного резиста, w ширина нижнего электрода, L - глубина подтравы. Техническим результатом изобретения является увеличение площади туннельных переходов, снятие ограничения на форму переходов, устранение паразитных теней, устранение паразитных шунтирующих емкостей и сопротивлений утечки, уменьшение количества технологических ступеней электронной литографии. 3 н.п. ф-лы, 7 ил.

RU 2 442 246 C 1

RU 2 442 246 C 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**(21)(22) Application: **2010126531/28, 29.06.2010**(24) Effective date for property rights:
29.06.2010

Priority:

(22) Date of filing: **29.06.2010**(45) Date of publication: **10.02.2012 Bull. 4**

Документ находится в Патентном отделе

ОКБ АСТРОН140081, Московская область, г.Лыткарино,
ул.Парковая, д.1(54) **THE METHOD OF PRODUCTION OF DEVICES WITH THIN FILM SUPERCONDUCTING JUNCTIONS**

(57) Abstract:

FIELD: microelectronics.

SUBSTANCE: invention relates to superconducting microelectronics in particular to production of superconducting tunnel junctions, Josephson junctions, superconductor-isolator-superconductor type structures (SIS), superconductor-isolator-normal metal (SIN), bolometers on frigorific electrons; the essence of the invention is as follows: the method of production of installment with thin film superconducting junctions consisting of coating of the supportive and main layers of the resist; the exposition for the above resist layers to be developed, sputtering of the first layer of the normal metal or the superconductor square to the body; the oxidation for forming the tunnel barrier; coating of the second film layer of the superconductor angularly to the normal: blasting of

the resist; coating of the upper film of the superconductor is performed at two different angles $+\varphi$ и $-\varphi$, from different side of the normal to the effect that the two films of the superconductor overlap the requisite gapping and form the single super conducting layer; the tunnel contact is established between the normal metal and the super conductor, at that the coating angle is chosen according to the formula $\operatorname{tg}\varphi \leq t/(L+w)$, wherein $t=t_1+t_2$ is the total thickness of the double-layer resist, w is the width of the bottom electrode, L is the depth of the etch.

EFFECT: increase of the tunnel junction space, uplift of the restrictions for the type of junctions, removal of the parasitic shadows, shunt capacitances, leakage impedance, and decrease of the technological stages of electronic lithography.

3 cl, 7 dwg

RU 2 4 4 2 2 4 6 C 1

RU 2 4 4 2 2 4 6 C 1

Изобретение относится к области сверхпроводниковой микроэлектроники, в частности к изготовлению сверхпроводниковых туннельных переходов, джозефсоновских переходов, структур типа сверхпроводник-изолятор-сверхпроводник (СИС), структур сверхпроводник-изолятор-нормальный металл (СИН), болометров на холодных электронах, Андреевских интерферометров.

Известен способ-аналог: изготовление СИС туннельного перехода с разрывом вакуума [1]. По этому способу т.н. отдельной технологии выполняют следующие операции: выполняют обратную литографию, наносят первый слой металла, взрывают фоторезист, делают вторую литографию, чистку, окисление, нанесение верхней пленки металла, взрыв резиста. Недостатком аналога является низкое качество туннельного барьера за счет разрыва вакуума перед нанесением верхнего слоя туннельного перехода и необходимость проведения, как минимум, двух операций фото- или электронной литографии с необходимостью совмещения слоев.

Известен способ-аналог: изготовление СИС трехслойки Гурвича, которая формируется без разрыва вакуума через окно в фоторезисте [2]. Это наиболее распространенная технология получения высококачественных туннельных переходов напыления без разрыва вакуума, в которой после напыления первого слоя металла производят его окисление в той же камере в атмосфере кислорода при определенном давлении, затем продолжают откачку и наносят второй слой пленки металла. Недостатком аналога является одинаковая форма верхнего и нижнего слоев сверхпроводника, что требует выполнения дополнительного этапа фотолитографии при формировании сложных схем.

Известен способ-прототип: изготовление сверхпроводниковых туннельных переходов и одноэлектронных транзисторов Долана теневым напылением под двумя углами через подвешенную маску из электронного резиста [3] для уменьшения количества этапов литографии. Метод теневого напыления под разными углами через подвешенную двухслойную маску, сформированную с помощью электронно-лучевой литографии, впервые был предложен в 1977 году G.J.Dolan [3]. В этой технологии двухслойная маска используется для напыления под разными углами двух слоев металла. Окисление нижнего слоя алюминия в процессе изготовления позволяет получить, в частности, джозефсоновские туннельные переходы высокого качества. В случае если нижний слой представляет собой нормальный металл, а верхний напыляют без окисления, образуется т.н. андреевский контакт. По этой методике можно изготавливать переходы размером 0.1 мкм и меньше.

Для формирования туннельных переходов по способу-прототипу:

1 - наносят первый слой поддерживающего резиста и запекают его;

2 - наносят слой основного резиста и запекают его;

3 - проводят экспозицию с использованием фотолитографии для формирования зазора между открытыми областями резиста;

4 - проявляют первый и второй слои резиста, получая в итоге подвешенную маску с рисунком, как в топологии в первом слое и с более широким рисунком в нижнем слое поддерживающего резиста;

5 - напыляют первый слой металла под прямым углом к подложке;

6 - окисляют поверхность металла для формирования туннельного барьера;

7 - напыляют второй слой металла под расчетным углом φ к нормали так, что металл подпыляется под подвешенную полосу резиста, опирающуюся на слой поддерживающего первого резиста;

8 - взрывают резисты в ацетоне для удаления пленок, лежащих поверх этих резистов.

Этот способ получил дальнейшее развитие в [4] для создания структур с резисторами и двумя сверхпроводниками, разделенными слоем окисла.

Изобретение [5] электронного охладителя структуры сверхпроводник-изолятор-нормальный металл (СИН) значительно расширило области применения такой технологии для изготовления электронных охладителей на чипе. Другой областью применения СИН переходов являются болометры на холодных электронах [6], использующие прямое электронное охлаждение абсорбера. Для всех перечисленных применений, использующих электронное охлаждение, требуются переходы достаточно большой площади, тогда как классическая технология теневого напыления ограничена площадью перехода менее 1 мкм^2 , что определяется перехлестом напыляемых пленок, расположенных под подвешенным мостиком из фоторезиста.

Перечисленные приложения требуют модификации метода теневого напыления для снятия ограничения по площади, устранения паразитных теней, сохранения высокого качества туннельного барьера. В качестве более поздних вариантов прототипа метода изготовления самосовмещенных туннельных переходов большой площади можно рассматривать патенты США [7, 8].

Недостатками прототипа являются ограничение площади перехода размером подтравы нижнего слоя резиста, что не позволяет получить туннельные переходы шире $0.2\text{-}0.3 \text{ мкм}$, и образование паразитных теней параллельно узкому слою нижнего электрода. Эти недостатки приводят к появлению паразитной шунтирующей емкости и паразитного сопротивления утечки. Нами разработан способ изготовления тонкопленочных туннельных переходов неограниченной площади методом модифицированного теневого напыления под тремя углами.

Целью предлагаемого изобретения является: увеличение площади туннельных переходов, снятие ограничения на форму переходов, устранение паразитных теней, устранение паразитных шунтирующих емкостей и сопротивлений утечки, уменьшение количества технологических ступеней электронной литографии.

Предлагаемый способ изготовления устройств с тонкопленочными сверхпроводниковыми переходами, состоящими из двух слоев металла, разделенных туннельным переходом, характеризуется следующей последовательностью операций:

- 1 - наносят первый слой поддерживающего резиста и запекают его;
- 2 - наносят слой основного резиста и запекают его;
- 3 - проводят экспозицию с использованием фото- или электронной литографии с формированием зазора между открытыми областями резиста;
- 4 - проявляют первый и второй слой резиста, получая в итоге подвешенную маску с рисунком, как в топологии в первом слое и с более широким рисунком в нижнем слое поддерживающего резиста (Фиг.1.2);
- 5 - напыляют первый слой металла (например, алюминий с подавленной слабым ферромагнетизмом сверхпроводимостью) под прямым углом к подложке (Фиг.1.3);
- 6 - окисляют поверхность металла для формирования туннельного барьера (Фиг.1.4);
- 7 - напыляют второй слой металла (например, чистого алюминия) под расчетным углом $+\varphi$ к нормали так, что металл подпыляется под подвешенную полосу резиста, опирающуюся на слой поддерживающего первого резиста (Фиг.1.5);
- 8 - напыляют третий слой металла (например, чистого алюминия) под расчетным углом $-\varphi$ с другой стороны к нормали так, что металл подпыляется под подвешенную полосу резиста, опирающуюся на слой поддерживающего первого резиста (Фиг.1.6);
- 9 - взрывают резисты в ацетоне для удаления пленок, лежащих поверх этих резистов;

1 - углы нанесения второго слоя выбирают таким образом, что паразитные тени оказываются на стенках резиста и удаляются вместе с резистом на последнем этапе взрыва в ацетоне или диметилформамиде, при этом угол φ и размеры связаны соотношением $\text{tg}\varphi \leq t/(L+w)$, где $t=t_1+t_2$ суммарная толщина двухслойного резиста, w - ширина нижнего электрода, L - глубина подтрава.

Перечень фигур графических изображений

Фигура 1. Топология единого слоя литографии для нанесения трех слоев устройства.

Схематическое изображение последовательности операций предлагаемого способа формирования сверхпроводниковых туннельных переходов приведено на Фиг.1.

На Фиг.1.1 изображен вид сверху топологии туннельного перехода, как она формируется в резисте. Области А и В открываются при проявлении и через них пленки наносят на подложку. Пунктиром показана линия сечения. Все дальнейшие чертежи приведены для этого сечения.

На Фиг.1.2 показан двухслойный резист с тонким верхним слоем электронного резиста и более толстым нижним слоем сополимера с подтравом под верхний слой после экспозиции и проявления обоих слоев.

На Фиг.1.3 показан этап нанесения тонкой пленки нижнего электрода под прямым углом по отношению к подложке. Направление напыления указано стрелками.

На Фиг.1.4 изображен этап окисления в атмосфере кислорода при низком давлении, либо нитридации, выполняемый в напылительной камере без разрыва вакуума.

На Фиг.1.5 показан этап нанесения первого слоя верхнего электрода под углом $+45^\circ$ (направление справа указано стрелками).

На Фиг.1.6 показан этап напыления второго слоя верхнего электрода под углом -45° (направление слева указано стрелками).

На Фиг.1.7 изображен получившийся туннельный переход после удаления резиста и лишних пленок металлов поверх него.

В результате на подложке остается только требуемый слой тонкого нижнего электрода, а пленки последующих двух слоев под углами $+45^\circ$ и -45° наносятся поверх резиста и на его торцы, не попадая на поверхность подложки. В результате после удаления (взрыва) резиста остается чистая структура нижнего электрода без паразитных теней слева и справа. По описанной методике соотношение между суммарной толщиной резиста t , шириной нижнего электрода w , глубиной подтрава L , и углом напыления α определяется по формуле

$$\text{tg}\alpha \leq t/(L + w) \quad (1)$$

Физический механизм достижения целей изобретения заключается в следующем: если в способе-прототипе ширина образуемых туннельных переходов определяется только величиной сдвига при напылении под углом и не может сильно превышать суммарную толщину резиста, то в предлагаемом способе за счет напыления второй пленки верхнего металла под противоположным углом (Фиг.1.6) ширина образуемого перехода определяется открытой областью резиста (область А на Фиг.1.1.) и может быть произвольной в пределах подложки. Паразитные тени не образуются, поскольку при правильном подборе соотношения между толщиной резиста и углами напыления (формула 1) тени попадают на боковые стенки резиста и удаляются вместе с резистом.

Для формирования андреевских контактов проводят те же операции, за исключением окисления по п.б, а напыляют слой сверхпроводника сразу поверх первого слоя нормального металла, в результате чего образуется Андреевский контакт типа нормальный металл-сверхпроводник.

1. Наносят первый слой поддерживающего резиста и запекают его.

2. Наносят слой основного резиста и запекают его.

3. Проводят экспозицию с использованием фото или электронной литографии с формированием зазора между открытыми областями резиста.

4. Проявляют первый и второй слои резиста, получая в итоге подвешенную маску с рисунком как в топологии в первом слое и с более широким рисунком в нижнем слое поддерживающего резиста (Фиг.1.2).

5. Напыляют первый слой металла (например, алюминий с подавленной слабым ферромагнетизмом сверхпроводимостью) под прямым углом к подложке (Фиг.1.3).

6. Напыляют второй слой металла (например, чистого алюминия) под расчетным углом $+\varphi$ к нормали так, что металл подпыляется под подвешенную полосу резиста, опирающуюся на слой поддерживающего первого резиста (Фиг.1.5).

7. Напыляют третий слой металла (например, чистого алюминия) под расчетным углом $-\varphi$ с другой стороны к нормали так, что металл подпыляется под подвешенную полосу резиста, опирающуюся на слой поддерживающего первого резиста (Фиг.1.6)

8. Взрывают резисты в ацетоне для удаления пленок, лежащих поверх этих резистов.

9. Углы нанесения второго слоя выбирают таким образом, что паразитные тени оказываются на стенках резиста и удаляются вместе с резистом на последнем этапе взрыва в ацетоне или диметилформамиде, при этом угол φ и размеры связаны соотношением $\operatorname{tg}\varphi \leq t/(L+w)$, где $t=t_1+t_2$ суммарная толщина двухслойного резиста, w - ширина нижнего электрода, L - глубина подтрава.

Для формирования структур с барьером Шоттки вместо нижнего слоя нормального металла наносят тонкую пленку полупроводника, поверх которой наносят слои сверхпроводника, в результате чего образуется контакт Шоттки на границе полупроводника и сверхпроводника или нормального металла. Окисления также не требуется.

1. Наносят первый слой поддерживающего резиста и запекают его.

2. Наносят слой основного резиста и запекают его.

3. Проводят экспозицию с использованием фото или электронной литографии с формированием зазора между открытыми областями резиста.

4. Проявляют первый и второй слои резиста, получая в итоге подвешенную маску с рисунком как в топологии в первом слое и с более широким рисунком в нижнем слое поддерживающего резиста (Фиг.1.2).

5. Напыляют нижний слой полупроводника под прямым углом к подложке (Фиг.1.3).

6. Напыляют слой металла под расчетным углом $+\varphi$ к нормали так, что металл подпыляется под подвешенную полосу резиста, опирающуюся на слой поддерживающего первого резиста (Фиг.1.5).

7. Напыляют слой металла под расчетным углом $-\varphi$ с другой стороны к нормали так, что металл подпыляется под подвешенную полосу резиста, опирающуюся на слой поддерживающего первого резиста (Фиг.1.6).

8. Взрывают резисты в ацетоне для удаления пленок, лежащих поверх этих резистов.

9. Углы нанесения второго слоя выбирают таким образом, что паразитные тени оказываются на стенках резиста и удаляются вместе с резистом на последнем этапе взрыва в ацетоне или диметилформамиде, при этом угол φ и размеры связаны соотношением $\operatorname{tg}\varphi \leq t/(L+w)$, где $t=t_1+t_2$ - суммарная толщина двухслойного резиста, w - ширина нижнего электрода, L - глубина подтрава.

Технический результат предлагаемого решения состоит в достижении поставленных целей: увеличении площади туннельных переходов, снятии ограничения на форму

переходов, устранении паразитных теней, устранении паразитных шунтирующих емкостей и сопротивлений утечки, уменьшении количества технологических ступеней электронной литографии.

Литература

- 5 1. Лапир Г.М., Комаровских Н.И., Электронная промышленность, № 6, 64, 1973.
2. W.Rothmund, H. Downar, P. Meisterjahn, et al., NbN-MgO-NbN Josephson junctions prepared by window isolation process, IEEE Trans. Appl. Supercond., v. 3, N 1, pp. 2208-10 2210 (1993).
3. G. J. Dolan, Offset masks for lift-off photoprocessing, Appl. Phys. Lett. 31, 337-339 (1977)
4. L.S. Kuzmin, Yu.V. Nazarov, D.B. Haviland, P. Delsing and T. Claeson. "Coulomb Blocade and Incoherent Tunneling of Cooper Pair in Ultra-Small Junctions Affected by strong 15 Quantum Fluctuations", Phys. Rev. Lett. Vol.67, 1161 (1991).
5. M. Naum, T. M. Eiles, and J. Martinis. Electron Microrefrigeration Based on a Normal Metal-Insulator-Superconductor Tunnel Junction.
6. L. Kuzmin D.Golubev, Appl.Phys.Lett.
- 20 7. United States Patent 6365912 , Superconducting tunnel junction device, Booth, Norman Ewart (Oxford, GB), Ullom, Joel Nathan (Cambridge, MA), Nahum, Michael (Cambridge, MA)
8. United States Patent 6,593,065, Method of fabricating nanometer-scale flow channels and 25 trenches with self-aligned electrodes and the structures formed by the same, Scherer, July 15, 2003

Формула изобретения

1. Способ изготовления устройств с тонкопленочными сверхпроводниковыми 30 переходами, состоящий из нанесения поддерживающего и основного слоев резиста, экспозиции, проявления этих слоев резиста, напыления первого слоя нормального металла или сверхпроводника под прямым углом к подложке, окисления для формирования туннельного барьера, напыления второго слоя пленки 35 сверхпроводника под углом к нормали, взрывания резиста, отличающийся тем, что напыление верхней пленки сверхпроводника производится под двумя разными углами $+\varphi$ и $-\varphi$ с разных сторон от нормали так, что обе пленки сверхпроводника перекрывают необходимый зазор и образуют единый сверхпроводящий слой, между 40 нормальным металлом и сверхпроводником формируется туннельный контакт, при этом углы нанесения выбирают по формуле $\text{tg}\varphi \leq t/(L+w)$, где $t=t_1+t_2$ - суммарная толщина двухслойного резиста, w - ширина нижнего электрода, L - глубина подтрава.

2. Способ изготовления устройств с тонкопленочными сверхпроводниковыми 45 переходами, состоящий из нанесения поддерживающего и основного слоев резиста, экспозиции, проявления, напыления пленки нормального металла под прямым углом к подложке, напыления пленки сверхпроводника на нормальный металл под углом к 50 нормали, взрывания резиста, отличающийся тем, что напыление верхней пленки сверхпроводника производится непосредственно на нормальный металл под двумя разными углами $+\varphi$ и $-\varphi$ с разных сторон от нормали так, что обе пленки сверхпроводника перекрывают необходимый зазор и образуют единый сверхпроводящий слой, между нормальным металлом и сверхпроводником образуется андреевский контакт, при этом углы нанесения выбирают по формуле $\text{tg}\varphi \leq t/(L+w)$, где $t=t_1+t_2$ - суммарная толщина двухслойного резиста, w - ширина нижнего

электрода, L - глубина подтравы.

3. Способ изготовления устройств с тонкопленочными сверхпроводниковыми переходами, состоящий из нанесения поддерживающего и основного слоев резиста, экспозиции, проявления, напыления пленки полупроводника под прямым углом к подложке, напыления пленки сверхпроводника под углом к нормали, взрывания резиста, отличающийся тем, что напыление верхней пленки сверхпроводника производится под двумя разными углами $+\varphi$ и $-\varphi$ с разных сторон от нормали так, что обе пленки сверхпроводника перекрывают необходимый зазор и образуют единый сверхпроводящий слой, между полупроводником и сверхпроводником образуется контакт Шоттки, при этом углы нанесения выбирают по формуле $\operatorname{tg}\varphi \leq t/(L+w)$, где $t = t_1 + t_2$ - суммарная толщина двухслойного резиста, w - ширина нижнего электрода, L - глубина подтравы.

15

20

25

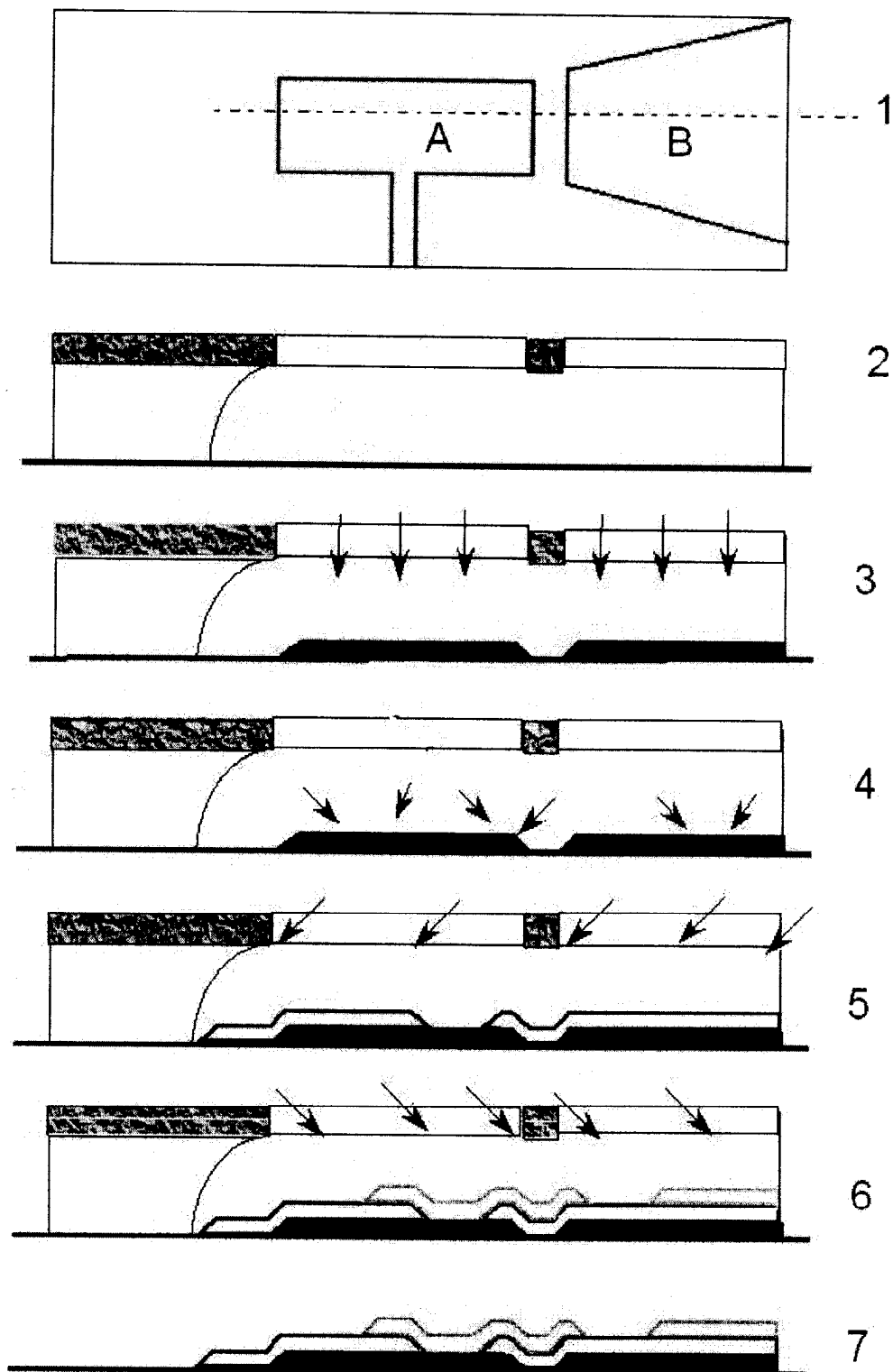
30

35

40

45

50



Фиг. 1