



РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО
ПО ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 120 678** ⁽¹³⁾ **C1**
(51) МПК⁶ **G 21 K 1/00, G 03 H 5/00**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: 95121072/25, 06.12.1995

(30) Приоритет: 28.12.94

(30) Приоритет: 28.12.1994 JP 6-326510

(46) Опубликовано: 20.10.1998

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: 1. WO 87/00681 A, 1987. 2. WO 89/08972 A, 1989. 3. WO 87/01503 A, 1987. 4. WO 89/04112 A, 1989. 5. Hidetsugu Ikegami. "Cyclotron maser Cooling of Electron and Ion Beams", Phys Scripta, v. 48, 1993, p. 32 - 36. 6. Hidetsugu Ikegami, Phys. Rev. Lett., v. 64, N 15, 1990, p. 1737 - 1740.

(71) Заявитель(и):

Рисерч Дивелопмент Корпорейшн оф Джапэн
(JP)

(72) Автор(ы):

Хидецугу Икегами (JP)

(73) Патентообладатель(ли):

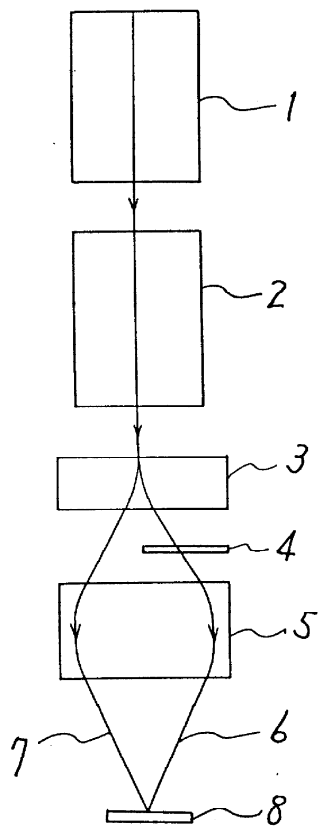
Рисерч Дивелопмент Корпорейшн оф Джапэн
(JP)

(54) СПОСОБ ГЕНЕРАЦИИ КОГЕРЕНТНОГО ПУЧКА ЧАСТИЦ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЕГО ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ

(57) Реферат:

Способ генерации когерентного пучка заключается в том, что пучок частиц пропускают через магнитное поле соленоида 12,13 и получают вращающийся пучок частиц. На вращающийся в магнитном поле пучок воздействуют электрическим полем вдоль магнитной оси соленоида. Частота электрического поля равна частоте вращения пучка частиц в магнитном поле соленоида. В результате образуются сгустки частиц в пучке, а группа частиц в пределах пульсирующих сгустков становится когерентным пучком частиц, обладающим временной когерентностью.

Устройство для получения когерентного пучка частиц содержит магнитный соленоид 12,13, ориентированный в направлении движения пучка, дефлектор 11 на входе в соленоид для получения вращения пучка в соленоиде, резонансную полость 14,15 в магнитном соленоиде и средство для получения в резонансной полости переменного электрического поля и частотой, равной частоте вращения пучка частиц. Предложенный способ и устройство позволяют получить когерентный пучок частиц из некогерентного пучка с большой релятивистской энергией. 2 с. и 3 з.п. ф-лы, 2 ил.



Фиг.1



RUSSIAN AGENCY
FOR PATENTS AND TRADEMARKS

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: **95121072/25, 06.12.1995**

(30) Priority: **28.12.94**

(30) Priority: **28.12.1994 JP 6-326510**

(46) Date of publication: **20.10.1998**

(71) Applicant(s):

**Riserch Divilopment Korporejshn of Dzhapehn
(JP)**

(72) Inventor(s):

Khidetsugu Ikegami (JP)

(73) Proprietor(s):

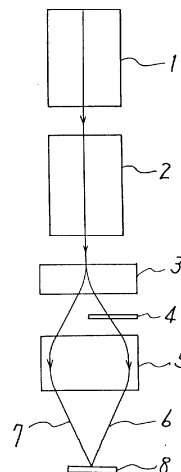
**Riserch Divilopment Korporejshn of Dzhapehn
(JP)**

(54) **METHOD FOR GENERATION OF COHERENT BEAM OF PARTICLES AND DEVICE WHICH IMPLEMENTS SAID METHOD**

(57) Abstract:

FIELD: instruments. SUBSTANCE: method involves passing beam through magnetic field of solenoid 12, 13 in order to generate rotating beam, which is subjected to electric field along magnetic axis of solenoid. Frequency of electric field is equal to frequency of rotation of beam in magnetic field of solenoid. This results in generation of bunch of particles in beam. Group of particles in range of pulsing bunch behaves as beam of particles with temporary coherence. Corresponding device has magnetic solenoid 12, 13 which is oriented in direction of beam movement, deflector 11 at input to solenoid in order to achieve beam rotation in solenoid, and unit for generation of alternating electric current in resonant chamber, which frequency is equal to frequency of rotation of beam of particles. EFFECT: possibility to generate coherent beam from non-coherent one with greater relativistic

power. 5 cl, 2 dwg



Фиг.1

Настоящее изобретение относится к способу и устройству для генерации пучка когерентных частиц, а именно, пучка частиц обладающих когерентностью при однородной энергии.

Из заявки PCT/WO 87/00681 известны способ и устройство для генерации когерентного пучка частиц, в соответствии с которой конденсация Бозе-Эйнштейна вызывается использованием упругого рассеяния среди бозонов, при котором относительная скорость мала. С этой точки зрения, способ согласно этой публикации не применим к пучку частиц, обладающих высокой скоростью.

Способ согласно этой публикации заключается в ускорении группы бозонов, обладающих низкой скоростью, которые подвергаются конденсации Бозе-Эйнштейна, так что генерируется когерентный пучок обладающих высокой энергией бозонов. При этом недостатком является то, что невозможно с уверенностью получить когерентный пучок частиц, обладающих высокой скоростью, из некогерентного пучка частиц, обладающих высокой скоростью.

Задача настоящего изобретения состоит в том, чтобы получить когерентный пучок частиц из некогерентного пучка частиц с большой релятивистской энергией.

Поставленная задача решается тем, что в способе генерации когерентного пучка частиц, при котором генерируют пучок частиц, согласно изобретению пропускают пучок частиц через магнитное поле соленоида, имеющего магнитную ось, параллельную пучку частиц, обеспечивают вращения пучка частиц в магнитном поле соленоида и воздействуют на вращающийся пучок частиц в магнитном поле соленоида электрическим полем с частотой, равной частоте вращения пучка частиц в магнитном поле соленоида вдоль магнитной оси для образования сгустков частиц в пучке частиц и получения временной когерентности пучка частиц.

В способе согласно изобретению амплитуду E_0 электрического поля определяют в системе координат, связанной с вращающейся частицей по формуле:

$$E_0 = \frac{\gamma_{\perp}^2 \cdot m_0 c}{\omega_0 \tau_0^2 e_0 \left[2(1 - \gamma_{\perp}^{-1}) \right]^{1/2}},$$

где

γ_{\perp} - коэффициент релятивистской энергии вращения;

m_0 - масса покоя частицы;

c - скорость света;

ω_0 - циклотронная частота;

τ_0 - время нахождения частицы в электрическом поле;

e_0 - электрический заряд частицы.

В способе согласно изобретению воздействием на пучок частиц электрическим полем также стимулируют охлаждение в циклотронном мазере пучка частиц.

Поставленная задача решается также тем, что устройство для генерации когерентного пучка частиц, содержащее средство для генерации пучка частиц, согласно изобретению содержит магнитный соленоид для генерации магнитного поля соленоида с магнитной осью, параллельной и идущей вдоль пучка частиц, дефлектор пучка для отклонения пучка частиц на входе магнитного соленоида для получения вращения пучка частиц в магнитном поле соленоида, резонансную полость в магнитном соленоиде вдоль пути вращающегося пучка частиц, и средство для получения в резонансной полости электрического поля с частотой, равной частоте вращения пучка частиц в резонансной полости вдоль магнитной оси для образования сгустков частиц в пучке частиц, и получения временной когерентности пучка частиц.

В устройстве согласно изобретению амплитуда E_0 электрического поля определяется в системе координат, связанной с вращающейся частицей по формуле:

$$E_0 = \frac{\gamma_{\perp}^2 \cdot m_0 c}{\omega_0 \tau_0^2 e_0 \left[2(1 - \gamma_{\perp}^{-1}) \right]^{1/2}},$$

5

где

 γ_{\perp} – коэффициент релятивистской энергии вращения; m_0 – масса покоя частицы, c – скорость света, ω_0 – циклотронная частота,

10

 τ_0 – время нахождения частицы в электрическом поле, e_0 – электрический заряд частицы.

В общем виде группа частиц демонстрирует волновые свойства, а именно, квантовый эффект, на макроскопической шкале при температуре, значение которой ниже значения критической температуры T_c . Из общего числа частиц следующее число частиц является

15

числом когерентных частиц:

$$\left[1 - (T/T_c)^{3/2} \right] \times 100\% . \quad (1)$$

Другими словами, эти частицы обладают когерентностью. Если это – бозе-частицы, то данное явление называется конденсацией Бозе-Эйнштейна. Если не учитывается

20

коэффициент спина, то T_c может быть равно:

$$kT_c = P_{th}^2 / 2m_0. \quad (2)$$

Среднее количество движения P_{th} теплового возбуждения определяется следующим образом в соответствии с принципом неопределенности Гейзенберга:

25

$$P_{th} \cdot n^{-1/3} = h, \quad (3)$$

где

 k представляет постоянную Больцмана;

n – плотность числа частиц, находящихся в состоянии покоя, из частиц, которые движутся в направлении магнитной оси соленоида;

30

 h – постоянная Планка.

Обычно в случае пучка ускоренных частиц плотность числа частиц является низкой, и в практических целях ее верхнее предельное значение составляет $n = 10^{16} \text{ (м}^{-3}\text{)}$. Что касается значения T_c , которое удовлетворяет обоим уравнениям (2) и (3), то даже в случае с электронами требуется очень низкая температура, менее 10^{-3} (К) . Осуществить

35

это почти невозможно и совершенно невозможно для пучков тяжелых частиц, отличных от электронных пучков.

Описанный выше традиционный способ является таким, что вызванная конденсацией Бозе-Эйнштейна пространственная когерентность накладывается на пучок частиц как таковая, а температура пучка частиц понижается для получения когерентного пучка частиц. Однако, если применяется основанный на временной когерентности способ согласно изобретению ослабляются жесткие условия, касающиеся однородности энергии пучка частиц с целью понижения температуры пучка частиц. Это подготавливает почву для достижения не только когерентных электронных пучков, но также когерентных пучков тяжелых частиц.

45

Сгруппированный в отрезке времени t_p пульсирующий пучок частиц демонстрирует квантовый эффект на макроскопической шкале, и критическая температура T_c для достижения когерентного пучка частиц определяется следующим отношением в соответствии с уравнением (3):

$$kT_c \cdot t_p = h. \quad (4)$$

50

Согласно уравнению (4) для пучка частиц, который пульсирует на отрезке времени, скажем, $t_p < 10^{-12} \text{ (сек)}$, группа частиц в пределах импульса становится когерентным пучком частиц, обладающим когерентностью при относительном содержании $[1 - (T/T_c)] \cdot 100\%$ при температуре ниже $T_c = 1 \text{ (К)}$. Для конденсации, согласно уравнениям

(2) и (3), условия ослаблены на три цифры относительно температуры охлаждения.

Самым простым способом достижения когерентности на основе временной когерентности настоящего изобретения является воздействие на пульсирующий пучок частиц с помощью энергетической селекции. Однако с таким способом наблюдается
слишком много потерь, связанных с селекцией полезных высокоярких пучков частиц. В
принципе, более того, очень короткие импульсы и высокая разрешающая способность
энергии являются несовместимыми с точки зрения оптической теории частиц.

Согласно настоящему изобретению демонстрирующий временную когерентность когерентный пучок частиц генерируется быстро, без потерь энергии, как будет описано
далее.

Далее изобретение поясняется на примере исполнения со ссылкой на чертежи, на которых показано:

фиг. 1 - схематичный вид, представляющий электронно-лучевой голографический прибор временной когерентности согласно варианту исполнения настоящего изобретения;

фиг. 2 - схематичный вид, изображающий циклотрон-мазер для охлаждения, установленный в электронно-лучевом голографическом приборе временной когерентности согласно варианту данного изобретения.

Фиг. 1 представляет схематичный вид электронно-лучевого голографического прибора временной когерентности для того случая, когда настоящее изобретение используется в
электронно-лучевой голографии.

На фиг. 1 представлены система 1 с электронным источником/ускоряющими линзами, используемая в электронном микроскопе, установка 2 СМС (циклотрон-мазер для охлаждения), в которой создается электронный пучок, когерентный электронный пучок, демонстрирующий временную когерентность, элемент 3 расходимости электронного пучка, образец 4, форсирующий элемент 5, сигнальный электронный пучок 6, через который проходит образец 4, опорный электронный пучок 7 и электронный детектор 8 для наблюдения за когерентностью.

На фиг. 2 изображена конструкция установки СМС согласно представленному на фиг. 1 варианту исполнения. Следует отметить, что дополнительный соленоид на этом чертеже и высокочастотный объемный резонатор не являются здесь обязательными в устройстве с однократным прохождением электронов по типу, соответствующему этому варианту.

На фиг. 2 представлены один или множество элементов 11 отклонения электронного пучка, соленоид 12, дополнительный соленоид 13, высокочастотные объемные резонаторы 14, 15 в поперечном электрическом режиме и один или множество элементов 16 отклонения электронного пучка. Отклоняющий элемент 11 может быть представлен магнитом или отклоняющей электродной пластиной. Здесь значительная часть кинетической энергии электронного пучка преобразуется в энергию вращения в соленоидном магнитном поле с плотностью магнитного потока, обозначенной B_0 . Частота вращения в это время составляет (ω_c/γ_\perp) , а частота ω_c вращения циклотрона и коэффициент γ_\perp релятивистской энергии вращения выражены уравнениями (5) и (6), соответственно, ниже.

$$\omega_c = e_0 B_0 / m_0; \quad (5)$$

$$\gamma_\perp = (1 - \beta_\perp^2)^{-1/2}, \quad (6)$$

где

e_0 и m_0 представляют электрический заряд электронов и массу в состоянии покоя, соответственно, β_\perp представляет скорость вращения, c - скорость света, l - поперечный символ.

Здесь используется способ СМС (охлаждения циклотроном-мазером) из "Способа охлаждения пучка заряженных частиц", описанного в заявке на японский патент N 2-223200, предложенной настоящим изобретением, при этом резонансная частота ω_{rf} высокочастотного объемного резонатора 14 устанавливается равной

$$\omega_{rf} = \omega_c / \gamma_\perp, \quad (7)$$

а амплитуда E_0 высокочастотного электрического поля E_0 равна

$$E_0 = \gamma_{\perp}^2 m_0 c / \left\{ \omega_c \tau_0^2 e_0 \left[2 \left(1 - \gamma_{\perp}^{-1} \right) \right]^{1/2} \right\}. \quad (8)$$

После этого имеет место группирование фазы вращения одновременно с униформизацией энергии $\gamma_{\perp} m_0 c^2$ вращения частиц, и ширина фазового распределения сужается с 2π до $\Delta\Phi_1$. В уравнении (8) τ_0 представляет время пребывания частиц в объемном резонаторе и определяется в системе координат частиц, перемещающейся вдоль магнитной оси соленоида точно так же, как время t_p продолжительности группирования и другие физические свойства. В современной практике напряженность высокочастотного магнитного поля настраивается на периферии уравнения (8).

Ширина $\Delta\Phi_1$ группирования фазы вращения определяется следующим образом:

$$\Delta\Phi_1 = \left[(2\omega_c / \gamma_{\perp}) \tau_0 / (1 + a^2) \right] \cdot \left[(2 - \gamma_{\perp}) / \gamma_{\perp} \right] \times \\ \times (\Delta\gamma_{\perp} / \gamma_{\perp}); \quad (9)$$

$$a = (2\omega_c / \gamma_{\perp}) \tau_0 / \left(1 - \gamma_{\perp}^{-1} \right); \quad (10)$$

Следовательно, ширина импульса t_p пучка частиц, который уже прошел фазу группирования в объемном, резонаторе, будет выражена следующим образом:

$$t_p = (\gamma_{\perp} / \omega_c) \cdot \Delta\Phi_1 = \left[2\tau_0 / (1 + a^2) \right] \times \\ \times \left[(2 - \gamma_{\perp}) / \gamma_{\perp} \right] (\Delta\gamma_{\perp} / \gamma_{\perp}). \quad (11)$$

В данном случае $\Delta\gamma_{\perp}$ представляет колебания γ_{\perp} .

В примере с СМС в случае, когда часть электронно-лучевой кинетической энергии $(\gamma - 1)m_0 c^2 = 150$ кэВ преобразуется в энергию вращения $(\gamma_{\perp} - 1)m_0 c^2 = 50$ кэВ с помощью установки 2 СМС,

длина объемного резонатора $L = 0,5$ (м),

а резонансная частота $\omega_{\text{н}} = \omega_c / \gamma_{\perp} = 2 \cdot 10^{10}$, имеем $\tau_0 = 3 \cdot 10^{-9}$ (сек) и $a^2 = 120$ и получаем

$$t_p = 2 \cdot 10^{-11} (\Delta\gamma_{\perp} / \gamma_{\perp}).$$

При разрешающей способности энергии $\Delta\gamma_{\perp} / \gamma_{\perp} < 10^{-4}$ значение t_p подсчитано равным менее 10^{-14} (сек). Хотя значение t_p в настоящий момент несколько больше из-за возмущения электромагнитного поля, оно значительно меньше, чем необходимая продолжительность времени, описанная в обсужденных ранее положениях изобретения. Более того, как детально описано в заявке на японский патент N 2-223200, предложенной данным изобретателем, энергия электронного пучка униформизирована до $\Delta\gamma_{\perp} / \gamma_{\perp} < 10^{-4}$. В результате для получения электронного пучка 17, демонстрирующего временную когерентность, имеет $T < 1$ (К).

Для корректирования фазы вращения может быть введен дополнительный соленоид 13. Альтернативно, в случае электронно-лучевого прибора для элементарных частиц, такого, как кольцо накопления частиц, симметрия всего прибора может быть усовершенствована за счет того, что дополнительный соленоид 13 имеет такой же тип, как и соленоид 12, а также за счет того, что дополнительный соленоид 13 поворачивается исключительно в направлении магнитного поля и вставляется высокочастотный объемный резонатор 15, фаза которого с этим согласуется.

Так как может быть выполнено множество явно сильно отличающихся вариантов настоящего изобретения без отступления от его замысла и области применения, следует отметить, что изобретение не ограничивается его конкретными вариантами, за исключением положений, определенных в прилагаемой формуле изобретения.

В соответствии с настоящим изобретением, как детально описано выше, могут быть

получены следующие результаты:

(1) В 1925 году Альберт Эйнштейн теоретически указал на возможность конденсации Бозе-Эйнштейна. Однако, представляется чрезвычайно трудным вызвать пространственную когерентность, такую, как конденсацию Бозе-Эйнштейна частиц в пучке ускоренных элементарных частиц с плотностью, которая намного ниже плотности частиц сыпучего материала. При униформизации энергии пульсирующего пучка частиц настоящее изобретение прокладывает путь для генерации без проблем когерентного пучка частиц, демонстрирующего временную когерентность.

(2) Вводится установка СМС (охлаждение с помощью циклотрона-мазера). Кроме возбуждения вращения в пучке частиц, это одновременно заставляет пульсировать пучок частиц посредством фазового группирования и униформизирует энергию пучка элементарных частиц. В результате генерации демонстрирующего временную когерентность когерентного пучка частиц когерентность может быть достигнута с максимальной эффективностью.

(3) Генерация когерентного пучка частиц, демонстрирующего временную когерентность, для коэффициента использования СМС возможна в устройствах с однократным прохождением, таких, как электронные микроскопы, и приборах циркуляционного типа, таких, как кольцевые устройства накопления частиц. Отличительная черта изобретения заключается в том, что не предусматривается абсолютно никакого ограничения относительно разновидности или энергии пучка частиц.

Формула изобретения

1. Способ генерации когерентного пучка частиц, при котором генерируют пучок частиц, отличающийся тем, что пропускают пучок частиц через магнитное поле соленоида, имеющего магнитную ось, параллельную пучку частиц, обеспечивают вращение пучка частиц в магнитном поле соленоида и воздействуют на вращающийся пучок частиц в магнитном поле соленоида электрическим полем с частотой, равной частоте вращения пучка частиц в магнитном поле соленоида вдоль магнитной оси для образования сгустков частиц в пучке частиц и получения временной когерентности пучка частиц.

2. Способ по п. 1, отличающийся тем, что амплитуду E_0 электрического поля определяют в системе координат, связанной с вращающейся частицей, по формуле

$$E_0 = \frac{\gamma_{\perp}^2 \cdot m_0 c}{\omega_0 \tau_0 e_0 [2(1 - \gamma_{\perp}^{-1})]^{1/2}},$$

где γ_{\perp} - коэффициент релятивистской энергии вращения;

m_0 - масса покоя частицы;

c - скорость света;

ω_0 - циклотронная частота;

τ_0 - время нахождения частицы в электрическом поле;

e_0 - электрический заряд частицы.

3. Способ по п. 1, отличающийся тем, что воздействием на пучок частиц электрическим полем также стимулируют охлаждение в циклотронном мазере пучка частиц.

4. Устройство для генерации когерентного пучка частиц, содержащее средство для генерации пучка частиц, отличающееся тем, что содержит магнитный соленоид для генерации магнитного поля соленоида с магнитной осью, параллельной и идущей вдоль пучка частиц, дефлектор пучка для отклонения пучка частиц на входе магнитного соленоида для получения вращения пучка частиц в магнитном поле соленоида, резонансную полость в магнитном соленоиде вдоль пути вращающегося пучка частиц и средство для получения в резонансной полости электрического поля с частотой, равной частоте вращения пучка частиц в резонансной полости вдоль магнитной оси для образования сгустков частиц в пучке частиц и получения временной когерентности пучка частиц.

5. Устройство по п. 4, отличающееся тем, что амплитуда E_0 электрического поля

определяется в системе координат, связанной с вращающейся частицей, по формуле

$$E_o = \frac{\gamma_{\perp}^2 \cdot m_o c}{\omega_o \tau_o e_o [2(1 - \gamma_{\perp}^{-1})]^{1/2}},$$

- 5 где γ_{\perp} - коэффициент релятивистской энергии вращения;
 m_o - масса покоя частицы;
 c - скорость света;
 ω_o - циклотронная частота;
 10 τ_o - время нахождения частицы в электрическом поле;
 e_o - электрический заряд частицы.

15

20

25

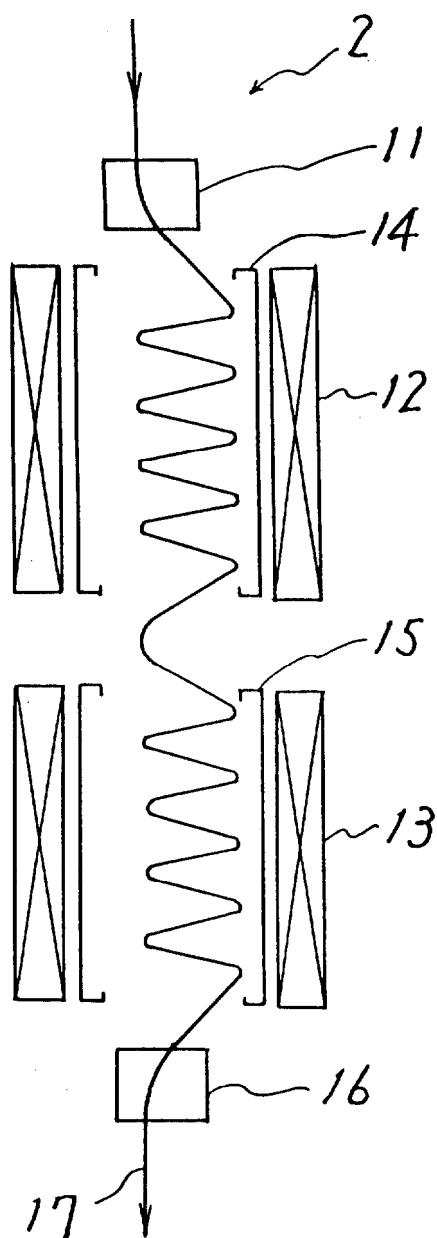
30

35

40

45

50



Фиг.2