



(51) МПК  
**C23C 14/35** (2006.01)  
**C23C 14/02** (2006.01)  
**C23C 14/54** (2006.01)

**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,  
 ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ**

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**

(21), (22) Заявка: **2006133826/02**, **22.03.2005**

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
**22.03.2005**

(30) Конвенционный приоритет:  
**22.03.2004 EP 04447072.2**

(43) Дата публикации заявки: **27.04.2008**

(45) Опубликовано: **20.08.2009** Бюл. № **23**

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: **WO 02103078 A1**, **27.12.2002**. **WO 03079397 A**, **25.09.2003**. **RU 2058429 C1**, **20.04.1996**. **WO 03021001 A1**, **13.03.2003**. **JP 1118987 A**, **13.07.1999**.

(85) Дата перевода заявки РСТ на национальную фазу: **23.10.2006**

(86) Заявка РСТ:  
**BE 2005/000038 (22.03.2005)**

(87) Публикация РСТ:  
**WO 2005/090632 (29.09.2005)**

Адрес для переписки:  
**191002, Санкт-Петербург, а/я 5, ООО  
 "Ляпунов и партнеры", пат.пов.  
 Ю.В.Кузнецовой**

(72) Автор(ы):

**ГАНЧИУ-ПЕТКУ Михай (RO),  
 ЭКК Мишель (BE),  
 ДОШО Жан-Пьер (BE),  
 КОНСТАНТИНИДИС Стефано (BE),  
 БРЕТАНЬ Жан (FR),  
 ДЕ ПУККЕ Людовик (FR),  
 ТУЗО Мишель (FR)**

(73) Патентообладатель(и):

**МАТЕРЬЯ НОВА АСБЛ (BE),  
 САНТР НАСЪОНАЛЬ ДЕ ЛА РЕШЕРШ  
 СЪЕНТИФИК (СНРС) (FR),  
 ЮНИВЕРСИТЕ ПАРИ-СЮД (FR)**

**(54) ОСАЖДЕНИЕ ИМПУЛЬСНЫМ МАГНЕТРОННЫМ РАСПЫЛЕНИЕМ С  
 ПРЕДЫОНИЗАЦИЕЙ**

(57) Реферат:

Изобретение относится к способу осаждения вещества на подложку, импульсному источнику питания для магнетронного реактора и магнетронному реактору. Осуществляют распыление вещества на подложку в магнетронном реакторе. Перед подачей каждого импульса основного напряжения газ предыонируют для обеспечения генерации импульсов тока. Время

спада указанных импульсов тока после отсечки импульсов основного напряжения меньше 5 мкс. Импульсный источник питания содержит средства генерации импульсов основного напряжения, средства генерации управляющих импульсов и коммутирующие средства. В результате достигается эффективная ионизация распыляемых паров вещества. 3 н. и 14 з.п. ф-лы, 18 ил., 1 табл.



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,  
PATENTS AND TRADEMARKS

(51) Int. Cl.  
*C23C 14/35* (2006.01)  
*C23C 14/02* (2006.01)  
*C23C 14/54* (2006.01)

**(12) ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: **2006133826/02, 22.03.2005**

(24) Effective date for property rights:  
**22.03.2005**

(30) Priority:  
**22.03.2004 EP 04447072.2**

(43) Application published: **27.04.2008**

(45) Date of publication: **20.08.2009 Bull. 23**

(85) Commencement of national phase: **23.10.2006**

(86) PCT application:  
**BE 2005/000038 (22.03.2005)**

(87) PCT publication:  
**WO 2005/090632 (29.09.2005)**

Mail address:  
**191002, Sankt-Peterburg, a/ja 5, OOO "Ljapunov i partnery", pat.pov. Ju. V. Kuznetsovoj**

(72) Inventor(s):

**GANChIU-PETKU Mikhaj (RO),  
EhKK Mishel' (BE),  
DOSH O Zhan-P'er (BE),  
KONSTANTINIDIS Stefano (BE),  
BRETAN' Zhan (FR),  
DE PUKKE Ljudovik (FR),  
TUZO Mishel' (FR)**

(73) Proprietor(s):

**MATER'Ja NOVA ASBL (BE),  
SANTR NAS'ONAL' DE LA RESHERSh  
S'ENTIFIK (SNRS) (FR),  
JuNIVERSITE PARI-SJuD (FR)**

**(54) DEPOSITION BY IMPULSE MAGNETRON DISPERSION WITH PRE-IONISATION**

(57) Abstract:

FIELD: physics.

SUBSTANCE: invention is related to method for deposition of substance onto substrate, impulse source of supply for magnetron reactor and to magnetron reactor. Substance is dispersed onto substrate in magnetron reactor. Prior to supply of each pulse of the main voltage, gas is pre-ionised to provide for generation of current pulses. Time for

decay of specified current pulses after cutoff of the main voltage pulses that are less than 5 microseconds. Pulse source of supply comprises facilities for generation of the main voltage pulses, facilities for generation of control pulses and commuting facilities.

EFFECT: efficient ionisation of dispersed vapors of substance is achieved.

17 cl, 18 dwg, 1 tbl

## Область техники

[001] Изобретение имеет отношение к осаждению на подложку вещества, распыленного магнетронным распылением. Объектами изобретения являются способ осаждения импульсным магнетронным распылением по меньшей мере одного вещества на подложку, импульсный источник питания для магнетрона и магнетрон, оснащенный упомянутым импульсным источником питания.

## Уровень техники

[002] Технология осаждения вещества на подложку посредством магнетронного распыления известна из уровня техники. Она получила быстрое развитие с 1970-х годов.

[003] Данная технология осаждения и ее наиболее значительные усовершенствования, известные к настоящему времени, описаны, например, в статье P.J.Kelly и R.D.Arnell «Magnetron sputtering: a review of recent developments and applications», опубликованной в VACUUM, 56 (2000), страницы 159-172.

[004] Вкратце, технология осаждения вещества на подложку посредством магнетронного распыления заключается в бомбардировке мишени, образующей катод магнетронного реактора и изготовленной из подлежащего осаждению вещества, ионами, получаемыми при электрическом разряде (плазма). Такая ионная бомбардировка приводит к распылению мишени в виде «пара» атомов или молекул, осаждаемых тонкой пленкой на помещенную вблизи мишени магнетрона подложку, которая может быть как неподвижной, так и движущейся.

[005] В неактивном режиме, в качестве газа, предназначенного для образования плазмы, используют инертный газ, например, аргон. В так называемом «реактивном» режиме используют газ, обычно разбавленный в инертном газе, для образования смеси, которая в зависимости от конкретной задачи может обладать или может не обладать электропроводностью. При катоде-мишени из титана, в качестве химически активного газа используют, например, смесь аргона/азота, которая приводит к образованию нитрида титана (TiN), проводящего электрический ток, или смесь аргона/кислорода, которая приводит к образованию диоксида титана (TiO<sub>2</sub>), не пропускающего электрический ток.

[006] Независимо от вида используемого газа атомы ионизируются по существу за счет столкновений с электронами, образованными в электрическом разряде. Вблизи мишени также создается магнитное поле, которое захватывает образованные в газе электроны, формируя таким образом более ионизованную плазму вблизи поверхности мишени.

[007] Магнетронное распыление осуществляют при низком давлении (обычно между 0,1 Па и несколькими Па). В результате, на пути к катоду-мишени электроны не подвергаются столкновениям или сталкиваются мало, что увеличивает эффективность напыления. Такое низкое давление также облегчает транспортировку распыляемого вещества к подложке за счет снижения числа столкновений между распыляемыми атомами или молекулами, т.е. за счет снижения величины отклонения и/или потери кинетической энергии распыляемых частиц (атомов или молекул).

[008] Вышеупомянутая технология осаждения вещества на подложку посредством магнетронного распыления подходит для осаждения, особенно в виде тонкой пленки, самых разнообразных веществ в различных областях техники, например в микроэлектронике (осаждение металлов для межсоединений и диэлектриков в структурах МОП-транзисторов), в оптоэлектронике (изготовление пьезоэлектрических подложек), в машиностроении или в области изготовления

соединителей (напыление износостойких покрытий, антикоррозионных покрытий и т.д.), в стекольной индустрии (функциональные слои). В качестве осаждаемых веществ можно использовать токопроводящие металлические материалы или соединения, изоляционную керамику, включая нитриды, оксиды, карбиды, оксинитриды и т.д.

5 [009] По сравнению с другими известными технологиями осаждения, подразумевающими проведение испарения (термовакuumное испарение и осаждение, при котором, как правило, используют индукционный нагрев, или осаждение с испарением посредством электронно-лучевого нагрева или нагрева электрической дугой), преимуществом магнетронного распыления является то, что оно является более направленным, поскольку обеспечивает достаточно явный лепестк  
10 направленности эмиссии, перпендикулярный катоду-мишени, а скорость испускания распыляемых частиц может быть преимущественно выше.

15 [0010] Согласно первоначальным вариантам вышеупомянутой технологии осаждения магнетронным распылением, электрический разряд в плазме генерировали в постоянном режиме путем подачи на катод постоянного напряжения или применяя высокочастотное (ВЧ) возбуждение газа.

20 [0011] Однако применение технологии магнетронного распыления в постоянном режиме ограничивают такие факторы, как неудовлетворительное качество напыляемых пленок (особенно в отношении пористости), трудность обеспечения однородности осаждения на подложку со сложной геометрией поверхности, и скорости осаждения, которые являются достаточно низкими (обычно порядка 1 мкм/ч). Более конкретно, что касается качества напыляемых пленок, в постоянном  
25 режиме (с использованием постоянного тока или высокочастотного возбуждения) часто наблюдается нежелательное возникновение электрических дуг, что приводит к испусканию вещества с мишени в виде капелек, которые осаждаются на подложку, создавая дефекты покрытия.

30 [0012] Кроме того, в случае осаждения магнетронным распылением изоляционных веществ, использование одного лишь высокочастотного возбуждения является сложным и трудно контролируемым, и при этом значительно снижается скорость осаждения.

35 [0013] Для улучшения осаждения магнетронным распылением изоляционных веществ, в частности оксидов, например оксида алюминия, было предложено использование импульсного магнетронного разряда (см. вышеупомянутую статью P.J.Kelly и R.D.Arnell, страницы 166-168, раздел 7, озаглавленный «Pulsed magnetron sputtering»). В соответствии с данной технологией в импульсном режиме на катод магнетрона подают импульсы напряжения для создания в газе, находящемся в  
40 состоянии плазмы, импульсного разрядного тока (импульсов тока) для ионизации газа и формирования высокоионизированной плазмы (в дальнейшем называемой «основной» плазмой).

45 [0014] В частности, в этой статье указано, что, генерируя импульсный магнетронный разряд с частотой, превышающей 20 кГц, например, в диапазоне частот от 20 кГц до 100 кГц, возможно избежать образования электрических дуг, обусловленных отравлением мишени изоляционным слоем. Скорость осаждения также возрастает (приблизительно 10 мкм/ч).

50 [0015] В данной статье также утверждается, что длительность «действия» импульса необходимо ограничивать (адаптировать), чтобы ограничить поверхностный заряд, обусловленный отравлением мишени, приводящим к образованию электрических дуг, и что во время «отсутствия» импульса поверхностный электрический заряд

нейтрализуется.

[0016] Более конкретно, установлено, что наиболее эффективное подавление электрических дуг наблюдается, когда длительность «действия» импульса приближается или равняется длительности «отсутствия» импульса. В приведенном иллюстративном примере (см. фиг.12) длительность «отсутствия» импульсов составляет приблизительно 10% общего времени цикла и равняется 5 мкс, длительность «действия» импульсов равняется 45 мкс. При таких условиях средний ток лишь немногим меньше (на 10%) импульсного тока.

[0017] Позднее предложено, например в патенте US 6296742 (Kousnetsov), для улучшения технологии осаждения магнетронным распылением в импульсном режиме обеспечить эффективную ионизацию распыленных паров, используя импульсы очень высокой мгновенной мощности (0,1 кВт - 1 МВт), которые генерируются таким образом, что газ (плазма), локализованный вблизи катода, быстро достигает высокого состояния ионизации (рабочий диапазон S8 согласно фиг.1 патента 6296742).

[0018] В патенте US 6296742 указано, что данное решение позволяет подавать на катод высокое напряжение, не вызывая при этом образования электрической дуги. На практике обнаружено, что при реализации данного решения электрические дуги, наносящие вред качеству осаждаемых пленок, все-таки образуются. Такое неожиданное образование электрической дуги можно объяснить фактом, что газ, перед достижением высокого состояния ионизации, должен пройти через область дугового разряда (зона S7 согласно фиг.1 патента US 6296742). Однако заявители не дают по этому поводу никаких объяснений.

[0019] Применяя технологию осаждения импульсным магнетронным распылением, в целях увеличения мгновенной мощности образованного в газе электрического разряда, необходимо подавать на катод как можно более короткие импульсы напряжения (обычно длительностью менее 50 мкс, в частности, менее 20 мкс и предпочтительно менее 5 мкс). Это объясняется тем, что при снижении длительности импульсов напряжения снижается вероятность образования нежелательных электрических дуг.

[0020] Однако изобретатели продемонстрировали, что снижение длительности подаваемых на катод импульсов напряжения приводит к появлению двух недостатков, отрицательно сказывающихся на образовании импульсов тока в газе. Эти два недостатка связаны с временем задержки образования импульсов тока относительно импульсов напряжения, то есть временем, проходящим от подачи на катод магнетрона импульса напряжения до начала образования импульса тока в газе. Это время задержки обусловлено временем, необходимым на инициацию лавины заряженных частиц.

1-й недостаток: Чрезмерно большое время задержки

[0021] В худшем случае выявлено, что вышеупомянутое время задержки длиннее длительности импульса напряжения. В этом случае общий импульс не формируется. Если данное время задержки короче импульса напряжения, но такое, что импульсу тока не хватит времени на правильное формирование до того, как закончится импульс напряжения, то результатом будет образование импульса тока малой амплитуды, что негативно проявится в виде создания маломощного электрического разряда. Короче говоря, чем длиннее время задержки относительно длительности импульса напряжения, тем меньше амплитуда импульса тока (которая практически даже равняется нулю, если время задержки больше длительности импульса напряжения).

2-й недостаток: Колебание величины времени задержки.

[0022] Вторым недостатком - это существенное колебание величины задержки, приводящее к нестабильности и плохой повторяемости во времени образуемых импульсов тока. Этот недостаток делает процесс осаждения случайным и невоспроизводимым.

5 Задачи изобретения

[0023] Задачей данного изобретения является улучшение известных способов осаждения вещества посредством импульсного магнетронного распыления.

10 Данная задача решена за счет нового технического решения, позволяющего нивелировать вышеупомянутые недостатки и при этом обеспечивающего эффективную ионизацию распыляемых паров.

[0024] Более конкретно, задача данного изобретения заключается в создании способа осаждения вещества посредством импульсного магнетронного распыления, который обеспечивает возможность образования электрических разрядов, 15 предпочтительно высокой мощности с хорошими стабильностью и повторяемостью во времени, и при этом снижает вероятность появления электрической дуги и вероятность повторного осаждения распыленного вещества на катод.

Сущность изобретения

20 [0025] Решить вышеупомянутые задачи позволяет способ, раскрытый в пункте 1 формулы изобретения. Согласно ограничительной части пункта 1, в магнетронном реакторе, оснащенном катодом-мишенью, путем испарения магнетронным распылением осаждают на подложку по меньшей мере одно вещество, используя газ, ионизируемый (основная плазма) в импульсном режиме путем подачи на катод 25 магнетрона импульсов основного напряжения.

[0026] Способ характеризуется тем, что перед подачей каждого импульса основного напряжения указанный газ предыонируют, обеспечивая тем самым генерацию импульсов тока, время спада которых после отсечки импульса основного 30 напряжения меньше 5 мкс и предпочтительно меньше 1 мкс.

[0027] Еще до создания настоящего изобретения в международной заявке WO 02/103078 был предложен способ генерации импульсной плазмы в магнетронном реакторе с режимом предыонизации, осуществляемой путем подачи постоянного тока до импульса напряжения.

35 [0028] Однако, во-первых, данная заявка WO 02/103078 не направлена на решение проблем стабильности и воспроизводимости во времени генерируемых импульсов тока.

40 [0029] Во-вторых, в источнике электропитания, описанном в заявке WO 02/103078 (см. фиг.9), имеется цепь, содержащая индуктивные катушки (L1, L2), установленные последовательно с катодом магнетрона и ограничивающие разрядные токи (страница 22, строка 2), Более конкретно, согласно этой публикации (страница 22, строки 2 и 3), индуктивность катушки (L1) должна быть настолько высокой, насколько это необходимо для создания тока предыонизации. Однако использование 45 такой последовательно установленной катушки индуктивности (L1) плохо влияет на импульс тока, потому что обуславливает появление постоянной времени, пагубно увеличивающей время отсечки импульса тока (т.е. время спада импульса тока после отсечки импульса напряжения). На практике, при использовании такого типа 50 источника электропитания время отсечки импульса тока становится большим и превышает 10 мкс. Таким образом, в отличие от настоящего изобретения, используя техническое решение, описанное в международной заявке WO 02/103078, не представляется возможным достичь очень коротких времен отсечки импульсов тока,

т.е. времен отсечки меньше 5 мкс и, предпочтительно, меньше 1 мкс.

[0030] Далее изобретатели как раз показывают, что для достижения оптимальных условий осаждения распыленного вещества на подложку первостепенно важным условием является генерирование импульсов тока с очень коротким временем отсечки.

5 Более конкретно, при больших периодах отсечки (>10 мкс), например таких, какие достигаются при использовании технического решения, описанного в заявке WO 02/103078, вероятность повторного осаждения распыленного вещества на катод, обусловленная самораспылением, увеличивается, в результате чего снижается  
10 скорость осаждения на подложку. Настоящее изобретение позволяет существенно снизить, или вообще предотвратить, явление повторного осаждения на катод, обусловленное самораспылением.

[0031] Газ, предыонизированный согласно настоящему изобретению перед подачей  
15 каждого импульса основного напряжения, обеспечивает создание в магнетронном реакторе начальной плазмы, которая выгодно снижает время задержки импульса тока относительно импульса основного напряжения и делает это время задержки более постоянным. По сравнению со способом без предыонизации импульсные  
20 электрические разряды в этом случае имеют более высокую мгновенную мощность и достаточно постоянную во времени среднюю мощность. Так, предложенный способ обеспечивает более предпочтительное формирование импульсов тока (стабилизированное и/или ускоренное).

[0032] Такая предыонизация особенно предпочтительна в импульсном режиме  
25 работы с короткими импульсами основного напряжения. Кроме того, она снижает вероятность образования нежелательной электрической дуги.

[0033] Другое назначение предыонизации - создание в магнетроне между катодом и подложкой достаточной плотности свободных электронов, которые способствуют  
30 транспортировке паров ионизированного вещества в сторону подложки.

[0034] Другим важным преимуществом предложенного способа является высокое  
35 состояние ионизации паров, достигающих подложки. Предыонизация обеспечивает степень ионизации паров, достигающих подложки, выше 10%, а в предпочтительном случае - выше 70%. Эту степень ионизации измеряют вблизи подложки методом абсорбционной спектроскопии, описанным в следующих двух публикациях:

40 - S.Konstantinidis, A.Ricard, M.Ganciu, J.-P.Dauchot, M.Wautelet и M.Hecq, "A study of an ionized magnetron source by pulsed absorption spectroscopy", Доклады 46-й ежегодной технической конференции Сообщества производителей вакуумных покрытий (Society of Vacuum Coaters), опубликованные Сообществом производителей вакуумных  
40 покрытий (Society of Vacuum Coaters), Альбукерке, США, штат Нью-Мексико (2003), 452

45 - и O.Leroy, L.de Poucques, C.Boisse-Laporte, M.Ganciu, L.Teulé-Gay и M.Touzeau ("Determination of titanium temperature and density in a magnetron vapor sputtering device assisted by two microwave coaxial excitation systems"), журнал J. of Vacuum Science & Technology A: Vacuum, Surfaces, and Films, 22 (2004), 192.

[0035] Настоящее изобретение за счет обеспечения высокой степени ионизации  
50 достигающих подложки паров позволяет улучшить качество осажденной на подложку пленки (в особенности, качество ее адгезии и ее плотность).

[0036] Другим преимуществом предыонизации согласно настоящему изобретению  
является то, что поверхность подложки приводится в надлежащее состояние (предварительное осаждение, абляция, поляризация), что позволяет изменять свойства  
осаждаемой пленки (адгезия, структура, однородность) согласно предусматриваемым

применениям. Это преимущество особенно полезно в области микроэлектроники.

[0037] Согласно настоящему изобретению, предыонизацию газа перед каждым импульсом основного напряжения можно осуществлять различным образом.

5 [0038] Согласно первому способу выполнения, предыонизацию газа осуществляют путем подачи на катод магнетрона напряжения предыонизации. Это напряжение предыонизации предпочтительно является напряжением постоянного тока, но также может быть импульсным напряжением, причем существенным аспектом является то, что предыонизация газа (образование начальной плазмы) происходит до подачи  
10 импульса основного напряжения, предназначенного для образования основной плазмы.

[0039] Согласно второму способу выполнения, предыонизацию газа осуществляют путем высокочастотного возбуждения газа.

15 [0040] Согласно третьему способу выполнения, предыонизацию газа осуществляют микроволновым возбуждением газа или любыми другими средствами, предназначенными для генерации свободных зарядов достаточной плотности в пространстве между катодом и анодом. Например, в случае намагниченной области, обращенной к катоду, эта плотность (рассчитанная на основании зависимости между  
20 плотностью электронов и плотностью тока ионов, выделенных из плазмы) предпочтительно выше  $10^8 \text{ см}^{-3}$  и еще более предпочтительно выше  $10^9 \text{ см}^{-3}$ .

[0041] Согласно четвертому способу выполнения, предыонизацию можно обеспечить при частоте повторения импульсов, достаточно высокой для  
25 формирования стабильного импульса тока на каждый импульс напряжения, чтобы использовать остаточную плотность электронов между двумя последовательными импульсами.

[0042] В контексте настоящего изобретения, импульсы основного напряжения, предназначенные для формирования основной плазмы, можно подавать на катод  
30 магнетрона в режиме единичного импульса или режиме множественных импульсов, т.е. импульсы генерируются последовательными цепочками из по меньшей мере двух близко расположенных импульсов.

[0043] Независимо от способа выполнения предыонизации газа и режима импульса  
35 (единичного импульса или множественных импульсов), длительность импульсов основного напряжения должна быть меньше 50 мкс, конкретнее - меньше 20 мкс и предпочтительно от 1 мкс до 10 мкс. Более точно, частота импульсов (в режиме единичного импульса) или цепочек близко расположенных импульсов не превышает 100 кГц и предпочтительно выше 50 Гц.

40 [0044] Другими объектами настоящего изобретения являются импульсный источник питания для магнетронного реактора, раскрытый в пункте 13 формулы изобретения, а также магнетронный реактор, оборудованный этим импульсным источником питания.

Краткое описание чертежей

45 [0045] Другие особенности и преимущества настоящего изобретения станут более понятными из рассмотрения иллюстративных вариантов осуществления предложенного способа, не ограничивающих объем его правовой охраны и описанных со ссылкой на прилагаемые чертежи, на которых:

50 [0046] Фиг.1 схематически изображает магнетронный реактор, оснащенный заявленным импульсным источником питания.

[0047] Фиг.2 изображает принципиальную схему импульсного источника питания, соответствующего одному из вариантов данного изобретения.

[0048] Фиг.3 схематически изображает осциллограмму напряжения (U), измеренного



на катоде магнетрона, и осциллограмму тока (I), проходящего через катод магнетрона, в рабочем режиме единичного импульса.

[0049] Фиг.4-17 изображают реальные осциллограммы контрольного сигнала (S) и вышеупомянутых напряжения (U) и тока (I), полученные из дампа содержимого экрана осциллографа при различных условиях функционирования, более подробно описанных ниже.

[0050] Фиг.18 схематически изображает другой вариант выполнения заявленного магнетронного реактора, с высокочастотным контуром для предыонизации.

10 Подробное описание изобретения

Основная схема магнетронного реактора (1), показанного на Фиг.1

[0051] На фиг.1 представлена схема магнетронного реактора 1, оснащенного заявленным импульсным источником 2 питания.

[0052] Магнетронный реактор 1, как таковой, известен из уровня техники. Коротко напомним его устройство и основные принципы действия.

[0053] В общих чертах, магнетронный реактор 1 содержит следующие, соединенные известным образом элементы: камеру 10 осаждения, внутри которой установлен катод, далее называемый катод МС магнетрона; подложкодержатель 11, который выполнен с возможностью удерживания подложки 11а и расположен на расстоянии от катода МС магнетрона, напротив него. Камера 10 также оснащена впускной системой 12, предназначенной для введения газа или газовой смеси, которые, будучи ионизированными, образуют плазму. Катод магнетрона изготавливают из вещества, предназначенного для напыления в виде тонкой пленки на подложку 11а.

[0054] В общих чертах известный способ магнетронного осаждения можно описать следующим образом. Источник 2 питания обеспечивает подачу на катод МС магнетрона отрицательного напряжения, вызывающего электрические разряды в газе внутри камеры 10 осаждения, в результате чего образуется разрядный ток, проходящий через катод МС магнетрона, и наблюдается высокая степень ионизации газа (формирование основной плазмы). Ионы этой основной плазмы бомбардируют поверхность (мишень) катода МС магнетрона со скоростью, достаточно высокой для распыления поверхности катода МС магнетрона. Таким образом, внутри камеры 10 образуются пары вещества, составляющего катод МС, причем данные пары осаждаются в виде тонкой пленки на поверхность подложки 11а.

[0055] Также предусмотрено, что с нижней стороны катода МС расположены магниты 13, создающие постоянное магнитное поле, основная функция которого - это захватывать и удерживать электроны основной плазмы вблизи катода магнетрона. Это магнитное поле позволяет сформировать и поддерживать намагниченную плазму, которая сильнее ионизирована вблизи катода МС магнетрона.

40 Конструкция источника (2) питания, показанного на фиг.2

[0056] Фиг.2 изображает принципиальную схему импульсного источника 2 питания, соответствующего одному из вариантов данного изобретения.

[0057] Конструкция источника питания, используемого в данном изобретении, обеспечивает ему преимущества непрерывной или импульсной предыонизации.

[0058] Источник 2 питания имеет выход (Out), соединенный известным образом с катодом МС магнетронного реактора, первые средства (S0, PG, T1, S1, C1, R1, D1, D3), предназначенные для генерации на выходе (Out) импульсов основного напряжения, и вторые средства (S2, R, D), предназначенные для генерации на выходе (Out) напряжения предыонизации, совместного с импульсами основного напряжения.

[0059] Более детально, согласно показанному на фиг.2 примеру выполнения изобретения, первые упомянутые средства для генерации импульсов основного напряжения содержат:

- источник S1 постоянного напряжения (вырабатывающий отрицательное выходное напряжение NT);
- средства (S0, PG, T1) генерации управляющих импульсов;
- коммутирующие средства T, установленные между источником S1 постоянного напряжения и выходом (Out);
- сопротивление R1 и разделительный диод D1, последовательно подсоединенные между коммутирующими средствами T и выходом (Out).

[0060] Узел J между коммутирующими средствами T и сопротивлением R1 также соединен с землей через разделительный диод D3. Выход источника S1 напряжения также соединен с землей через конденсатор C1.

[0061] Более подробно, средства генерации управляющих импульсов содержат:

- источник S0 питания, вырабатывающий прямоугольный управляющий сигнал S с изменяемой частотой и изменяемым рабочим циклом;

- импульсный генератор PG, запускаемый управляющим сигналом S;
- и импульсный трансформатор для управления коммутирующими средствами T.

[0062] Более детально, в рассмотренном примере коммутирующие средства T представляют собой биполярный плоскостной транзистор типа IGBT (иполярный транзистор с изолированным затвором), затвор которого соединен с импульсным генератором PG через импульсный трансформатор PT.

[0063] Источник S1 постоянного напряжения позволяет, только когда транзистор T открыт, подавать отрицательное напряжение на катод MC магнетрона через сопротивление R1 и рабочий диод D1, последовательно соединенные с катодом MC.

[0064] Вышеупомянутые вторые средства генерации напряжения предыонизации содержат источник S2 постоянного напряжения, соединенный с выходом (Out) через последовательно установленные сопротивление R и разделительный диод D. Источник S2 напряжения вырабатывает на выходе отрицательное напряжение PHT постоянного тока.

[0065] С выходом источника S2 напряжения последовательно соединен ключ SW. Когда ключ SW закрыт, отрицательное напряжение PHT предыонизации подается на катод MC магнетрона через сопротивление R и разделительный диод D.

[0066] Ключ SW является необязательным, он обычно используется для проведения сравнительных тестов (см. описание к фиг.4 и последующим).

Положение этого ключа определяет следующие режимы:

- [открытый ключ SW] - функционирование магнетронного реактора 1 в одном только импульсном режиме (обычное функционирование);
- и [ключ SW закрыт] - функционирование согласно настоящему изобретению, с наложением на импульсный режим постоянного режима, что позволяет обеспечить требуемую предыонизацию газа (в этом случае на катод MC магнетрона подается отрицательное напряжение предыонизации постоянного тока).

[0067] При изготовлении заявленного источника питания транзистор T, который в показанном на фиг.2 примере является IGBT транзистором, может быть заменен любым эквивалентным средством, т.е. любым быстрым коммутирующим средством, управляемым электрическим сигналом. В частности, транзистор T можно заменить переключателем фирмы Behlke.

Функционирование источника (2) питания - Фиг.2 и 3

[0068] Теперь опишем со ссылкой на фиг.2 и фиг.3 функционирование источника 2 питания. На фиг.3 схематически показаны осциллограмма напряжения  $U$ , измеренного между катодом МС магнетрона и землей, и осциллограмма разрядного тока  $I$ , проходящего через катод МС магнетрона. В приводимом ниже описании рабочих фаз I-IV необходимо учитывать, что ключ SW источника 2 питания закрыт.

Фаза I / Предыонизация (фиг.3):

[0069] Транзистор Т находится в закрытом состоянии. На катод МС магнетрона подается только отрицательное напряжение РНТ предыонизации через токоограничивающее сопротивление R. Это отрицательное напряжение постоянного тока генерирует в газе непрерывный электрический разряд, приводящий к образованию постоянного тока  $I_p$  предыонизации, проходящего через катод МС магнетрона, разделительный диод D и сопротивление R.

Фаза II:

[0070] По окончании первой фазы I предыонизации затвор транзистора Т, управляемый импульсным генератором PG (транзистор Т в открытом состоянии), временно разрешает подачу отрицательного напряжения НТ на катод МС магнетрона через токоограничивающее сопротивление R1 и разделительный диод D1. Таким образом, импульс VP основного напряжения длительностью  $t_p$  подается на катод МС, приводя к образованию импульса CP основного тока, проходящего через катод МС магнетрона. Этот импульс CP основного тока генерируется с коротким временем  $\Delta$  задержки относительно начала импульса VP напряжения.

Фаза III:

[0071] Транзистор Т вновь закрыт (обратное переключение транзистора посредством импульсного генератора PG). Высокое отрицательное напряжение НТ больше не подается на катод МС магнетрона (конец импульса основного напряжения). Ток I поддерживается только за счет индуктивной энергии, аккумулированной в эквивалентной индуктивности L магнетронного реактора 1. Ток I уменьшается с временной постоянной, равной приблизительно  $L/R_E$ , где  $R_E$  - это эквивалентное последовательное сопротивление, нижний диапазон которого ограничен величиной сопротивления R1. Разница между  $R_E$  и R1 обусловлена нелинейным импедансом плазмы. После переключения транзистора Т диод D3 (фиг.2) пропускает ток I, предотвращая при этом перенапряжение на этом транзисторе.

Фаза IV:

[0072] После окончания импульса тока, импеданс магнетронного реактора 1 остается низким, благодаря высокому состоянию ионизации намагниченной плазмы. Следовательно, для того же постоянного тока  $I_p$  предыонизации, напряжение U на катоде магнетрона остается низким на короткое время.

Поскольку состояние ионизации намагниченной плазмы понижается, импеданс магнетронного реактора 1 возрастает пропорционально, возвращаясь к начальным состояниям вышеупомянутой фазы I предыонизации.

[0073] Цикл повторяется с частотой f, которую задают в зависимости от конкретной задачи.

Выбор R1, C1 и R

[0074] Выбор сопротивления R1 важен для обеспечения надлежащего функционирования источника 2 питания. Выбор осуществляют таким образом, чтобы удовлетворить следующим двум противоположным ограничениям:

- время  $T_d$  спада импульса CP тока во время фазы III (см. фиг.3) должно быть как

можно более коротким (по сравнению с длительностью  $t_p$  импульсов VP основного напряжения). Более детально, сопротивление R1 выбирают таким образом, чтобы время  $T_d$  спада (время отсечки тока) было менее 5 мкс, а в предпочтительном случае не более 1 мкс, что приблизительно соответствует выбору коэффициента  $L/R1$  менее 2,5 мкс, а в предпочтительном случае не превышающему 0,5 мкс. Такое ограничение позволяет определить минимальную величину сопротивления R1, пригодную для заданной эквивалентной индуктивности L магнетронного реактора 1 и соединительных проводов;

- величина сопротивления R1 не должна быть уж слишком большой для ограничения максимального тока  $I_{max}$  (фиг.3), генерируемого во время фазы II. На практике R1 выбирают таким образом, чтобы этот ток  $I_{max}$  во всех случаях был меньше, например, удвоенного максимального рабочего тока магнетронного реактора, для того, чтобы исключить вероятность ненадлежащего функционирования магнетронного реактора.

[0075] Предпочтительно, источник питания настраивают так, чтобы выполнялось одно или оба следующих условия:

- максимальная плотность тока предыонизации (на мишени, т.е. на катоде магнетрона) должна составлять от 0,05 мА/см<sup>2</sup> до 100 мА/см<sup>2</sup>;

- максимальная плотность тока (на мишени) должна быть более 0,1 А/см<sup>2</sup> и предпочтительно более 1 А/см<sup>2</sup>;

- время нарастания тока должно быть менее 20 мкс, например, менее 1 мкс.

[0076] Конденсатор C1, низкой последовательной индуктивности, выбирают таким образом, чтобы во время вышеупомянутой фазы II обеспечивался импульсный ток и при этом на катоде MC магнетрона поддерживалось подходящее высокое напряжение U во время подаваемого импульса.

[0077] Сопротивление R выбирают так, чтобы ограничить начальный ток предыонизации.

[0078] В вышеупомянутом примере выполнения изобретения, не ограничивающем объем его притязаний, максимальное значение напряжения НТ составляет -1100 В. Максимальное значение напряжения РНТ составляет -1100 В. Значение эквивалентной индуктивности магнетронного реактора 1 равняется приблизительно 0,5 мкГн, значение сопротивления R1 - 5 Ом, с тем чтобы  $T_d$  приблизительно равнялось 0,1 мкс, значение сопротивления R - 300 кОм и значение конденсатора C1 - 10 мкФ.

Сравнительные испытания: импульсный режим без предыонизации, импульсный режим с предыонизацией (фиг.4-17)

[0079] Сравнительные испытания проводили с использованием магнетронного реактора 1 и источника 2 питания, описанных выше со ссылкой на фиг.1-3, для того, чтобы продемонстрировать преимущества воздействия предыонизации на образование импульса РС тока во время фазы II, в частности, на время  $\Delta$  задержки импульса тока, на его максимальную интенсивность  $I_{max}$  и на стабильность импульсов VP напряжения и импульсов тока CP во времени.

[0080] Основные общие условия для всех испытаний были следующими: в качестве газа для образования плазмы использовали аргон; катод (мишень) был выполнен из титана. Давление внутри камеры (10) магнетронного реактора равнялось 10 мТорр (т.е. 1,33 Па).

[0081] В каждом испытании с помощью осциллографа одновременно наблюдали три упомянутых ниже сигнала (см. фиг.4-17):

- (S): управляющий импульс, вырабатываемый генератором S0;
- (I): ток, проходящий через катод (МС) магнетрона;
- (U): и напряжение, измеряемое между катодом (МС) магнетрона и землей.

[0082] Испытания каждый раз проводили в виде сопоставления [см. столбец (2) нижеприведенной таблицы]:

- без подачи напряжения предыонизации [ключ SW открыт - фиг.4, 6, 8, 10, 12, 14, 16]
- и с подачей напряжения (РНТ) предыонизации постоянного тока [ключ SW закрыт - фиг.5, 7, 9, 11, 13, 15, 17].

[0083] При всех испытаниях с предыонизацией напряжение (РНТ) предыонизации постоянного тока равнялось -1000 В, а постоянный ток  $I_p$  смещения равнялся приблизительно 3,3 мА. Следует заметить, что из-за масштаба шкалы, используемой для измерения тока I, очень низкий ток  $I_p$  предыонизации не заметен на осциллограммах, показанных на фиг.5, 7, 9, 11, 13, 15, 17.

[0084] Сравнительные тесты выполняли в режиме единичного импульса (фиг.4-7 и фиг.12 и 13) и в режиме двойного импульса (фиг.8-11 и фиг.14-17), т.е. при генерации последовательных цепочек из двух близко расположенных импульсов VP напряжения.

[0085] Основные изменяемые параметры и результаты испытаний изложены в нижеприведенной таблице. В этой таблице длительность  $t_p$  [столбец 4] соответствует ширине каждого импульса VP основного напряжения; длительность  $T_p$  [столбец 5] соответствует, в случае режима двойного импульса (т.е. последовательности цепочек из двух близко расположенных импульсов напряжения), времени, разделяющему два импульса одной импульсной цепочки; частота f [столбец 6] соответствует частоте повторения импульсов VP напряжения (в случае режима одиночного импульса) или частоте повторения цепочки из двух близко расположенных импульсов VP в случае режима двойного импульса; время  $\Delta$  задержки [столбец 7] характеризует промежуток времени, отделяющий начало импульса CP тока от начала импульса VP напряжения. Значения  $I_{max}$  и  $U_{max}$ , представленные в нижеприведенной таблице [столбцы 8 и 9], соответствуют максимальной амплитуде импульса тока и импульса напряжения, соответственно; причем в случае испытаний в режиме двойного импульса, эти амплитуды ( $I_{max}$  и  $U_{max}$ ) измеряются на первом импульсе цепочки из двух импульсов.

Сравнительные результаты:								
Фиг.	Предыонизация	Режим	Время ( $t_p$ ), мкс	Время ( $T_p$ ), мкс	Частота (f), Гц	Время задержки ( $\Delta$ ), мкс	$I_{max}$ , А	$U_{max}$ , В
4	НЕТ	Единичный импульс	10	/	50	/	10	-1000
5	ДА	Единичный импульс	10	/	50	$\ll \Delta$ (Фиг.4)	90	-900
6	НЕТ	Единичный импульс	10	/	100	3,6	80	-1000
7	ДА	Единичный импульс	10	/	100	1,2	75	-900
8	НЕТ	Двойной импульс	10	48	50	/	10	-950
9	ДА	Двойной импульс	10	48	50	/	90	-1000
10(*)	НЕТ	Двойной импульс	10	48	50	/	20	-1000
11(*)	ДА	Двойной импульс	10	48	50	/	90	-1000
12	НЕТ	Единичный импульс	5	/	50	/	30	-1000
13	ДА	Единичный импульс	5	/	50	$\ll \Delta$ (Фиг.12)	60	-1000
14	НЕТ	Двойной импульс	5	23,8	100	(**)	0	-1000
15	ДА	Двойной импульс	5	23,8	100	/	60	-1000
16(*)	НЕТ	Двойной импульс	5	23,8	100	(**)	0	-1000
17(*)	ДА	Двойной импульс	5	23,8	100	/	60	-1000

(\*) Осциллограф в режиме огибающей; (\*\*) Нет первого импульса тока.

[0086] Из анализа фиг.4 и 5 видно, что при отсутствии предыонизации (фиг.4) импульс тока имеет большую задержку относительно импульса напряжения, что приводит к очень низкой амплитуде импульса тока, тогда как при тех же самых условиях функционирования с предыонизацией (фиг.5), импульсы тока нарастают  
5 значительно быстрее (очень короткое время  $\Delta$  задержки) и соответственно имеют большую амплитуду. Следовательно, мощность генерируемых в газе электрических разрядов значительно выше, чем в случае работы в импульсном режиме с предыонизацией, что является преимуществом. В определенных случаях, при  
10 отсутствии предыонизации, время ( $\Delta$ ) задержки даже может превышать ширину ( $t_p$ ) импульса напряжения, что соответствует почти полному отсутствию импульса тока.

[0087] Обратимся к фиг.6 (частота = 100 Гц). При отсутствии предыонизации создаются более значительные импульсы тока, чем в случае фиг.4 ( $f=50$  Гц), однако по  
15 сравнению с работой на той же частоте повторения ( $f=50$  Гц), но с предыонизацией (фиг.7), импульс тока начинает формироваться позже (фиг.6:  $\Delta=3,6$  мкс / фиг.7:  $\Delta=1,2$  мкс). При отсутствии предыонизации плотность свободных зарядов очень низкая и время, необходимое для формирования плазмы достаточной плотности, чтобы создать пригодный для распыления ток, слишком большое. Предыонизация позволяет  
20 достичь фазы тока насыщения магнетрона значительно быстрее.

[0088] Обратимся к фиг.8. В режиме двойного импульса без предыонизации первый импульс тока начинается поздно и соответственно имеет очень низкую амплитуду (ситуация, сходная с представленной на фиг.4 в режиме единичного импульса). В  
25 случае фиг.14 ( $f=100$  Гц,  $T_p=23,8$  мкс), когда нет предыонизации, первый импульс тока отсутствует полностью. Для сравнения, выполняя предыонизацию (фиг.9 и 15), первый импульс тока образуется очень скоро и с большой амплитудой. Кроме этого, в случае с предыонизацией второй импульс тока имеет большую амплитуду по сравнению с амплитудой второго импульса тока, генерируемого при отсутствии предыонизации,  
30 что также является преимуществом.

[0089] На фиг.10 и 16 (режим двойного импульса без предыонизации/осциллограф в режиме огибающей) показана очень высокая нестабильность во времени импульсов  
35 тока  $CP$  и напряжения  $VP$ , что ухудшает качество и воспроизводимость во времени осаждения вещества на подложку. Для сравнения, в случае с предыонизацией (фиг.11 и 17) импульсы тока и напряжения ( $CP$  и  $VP$ ) очень стабильны во времени, в результате чего обеспечивается преимущество лучшей воспроизводимости и лучшей стабильности процесса осаждения во времени.

[0090] Изобретение не ограничивается вышеупомянутыми примерами воплощения,  
40 и, в частности, электрическими параметрами, описанными выше для источника питания и магнетрона. Специалисты могут проектировать и настраивать источник питания для заданного магнетрона с учетом особенностей каждой конкретной задачи, например, путем анализа эпюр тока  $I$  и напряжения  $U$ , полученных с помощью  
45 осциллографа, и путем модифицирования предыонизации, чтобы обеспечить таким образом требуемый результат, особенно в отношении времени задержки и/или амплитуды и/или стабильности импульсов тока, или чтобы получить желаемую степень ионизации достигающих подложки паров. Предыонизацию можно настроить таким образом, чтобы предупредить эффект отравления мишени в случае работы в  
50 реактивном газе.

[0091] В общем виде, предыонизацию газа перед подачей каждого импульса  $VP$  напряжения можно обеспечивать любыми известными из уровня техники средствами. Более конкретно, предыонизации можно достичь с помощью достаточно высокой

частоты повторения импульсов, с тем, чтобы использовать остаточную плотность электронов между двумя последовательными импульсами.

[0092] Предыонизации можно достичь следующим, не ограничивающим рамки изобретения способом - в дополнение к основной импульсной плазме также создавать плазму высокочастотным возбуждением или вторичными микроволнами или любыми другими средствами для достижения достаточной плотности электронов предыонизации (коронный разряд, предыонизация УФ-излучением). Например, на фиг.18 показано, что газ подвергается высокочастотному возбуждению с помощью медного контура 14, помещенного внутрь камеры осаждения вблизи катода магнетрона и запитанного от генератора 15 с радиочастотным током предварительно установленной частоты. На фиг.18 блоком 16 схематически обозначена схема согласования импеданса, размещенная известным образом между генератором 15 и контуром 14.

[0093] Результаты, сходные с вышеописанными, можно получить при помощи высокочастотного возбуждения на частоте 13,56 МГц, при этом расстояние между катодом МС магнетрона и медным контуром 14 приблизительно равно 4 см. Контур высокочастотного возбуждения не обязательно должен быть индуктивного типа - он может быть емкостного типа.

[0094] В другом варианте (не показан), предыонизации также можно достигать за счет подачи в камеру осаждения высокочастотного сигнала, например, на частоте 2,45 ГГц.

[0095] На примерах, представленных на фиг.1-17, предыонизация достигается с помощью постоянного тока предыонизации. Это не ограничивает объем правовой охраны изобретения. Согласно другому варианту изобретения ток предыонизации может быть импульсным, при этом существенным аспектом здесь является то, что предыонизация газа предшествует подаче импульсов напряжения. В данном случае, импульсы тока предыонизации должны предшествовать импульсам VP основного напряжения. Это замечание действительно и в случае высокочастотного или микроволнового возбуждения, а также в случае любого другого возбуждения предыонизации. Эти возбуждения могут выполняться одинаково хорошо и в режиме постоянного тока и в импульсном режиме.

#### Формула изобретения

1. Способ осаждения по меньшей мере одного вещества на подложку (11а) в магнетронном реакторе (1), оснащенном магнетроном с катодом (МС), в ходе которого указанное вещество испаряют магнетронным распылением, используя газ, ионизируемый в импульсном режиме путем подачи на катод (МС) магнетрона импульсов (VP) основного напряжения, отличающийся тем, что перед подачей каждого импульса (VP) основного напряжения газ предыонизируют, обеспечивая тем самым генерацию импульсов (CP) тока, время ( $T_d$ ) спада которых после отсечки импульсов (VP) основного напряжения меньше 5 мкс.

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что время ( $T_d$ ) спада импульса (CP) тока после отсечки импульса (VP) основного напряжения меньше 1 мкс.

3. Способ по п.1, отличающийся тем, что степень ионизации пара, измеряемая вблизи подложки, выше 10% и предпочтительно выше 70%.

4. Способ по любому из пп.1-3, отличающийся тем, что газ предыонизируют путем подачи напряжения предыонизации на катод (МС) магнетрона.

5. Способ по п.4, отличающийся тем, что напряжение предыонизации является

напряжением постоянного тока.

6. Способ по любому из пп.1-3, отличающийся тем, что плотность тока предыонизации на катоде магнетрона составляет от 0,05 до 100 мА/см<sup>2</sup>.

7. Способ по любому из пп.1-3, отличающийся тем, что предыонизацию осуществляют при частоте повторения импульсов достаточно высокой для формирования стабильного импульса тока на каждый импульс напряжения.

8. Способ по любому из пп.1-3, отличающийся тем, что газ предыонизируют путем высокочастотного возбуждения газа.

9. Способ по любому из пп.1-3, отличающийся тем, что газ предыонизируют путем микроволнового возбуждения.

10. Способ по любому из пп.1-3, отличающийся тем, что импульсы основного напряжения образованы последовательными цепочками из по меньшей мере двух близко расположенных импульсов (VP).

11. Способ по любому из пп.1-3, отличающийся тем, что длительность ( $t_p$ ) импульсов (VP) основного напряжения меньше 50 мкс, в частности меньше 20 мкс, а в предпочтительном случае находится в диапазоне от 1 до 10 мкс.

12. Способ по п.11, отличающийся тем, что частота (f) импульсов в режиме единичного импульса или цепочки близко расположенных импульсов не превышает 100 КГц и предпочтительно выше 50 Гц.

13. Импульсный источник (2) питания для магнетронного реактора (1), имеющий выход (Out) для подсоединения к катоду (МС) магнетронного реактора, отличающийся тем, что он содержит первые средства, предназначенные для генерации на выходе (Out) импульсов (VP) основного напряжения, и вторые средства, предназначенные для генерации на выходе (Out) напряжения предыонизации совместно с импульсами (VP) основного напряжения, причем первые средства генерации импульсов основного напряжения включают в себя источник (S1) напряжения постоянного тока, средства (SO, PG, T1) генерации управляющих импульсов, коммутирующие средства (Т), установленные между источником (S1) напряжения постоянного тока и выходом (Out) и управляемые средствами (SO, PG, T1) генерации управляющих импульсов, и сопротивление (R1), последовательно установленное между коммутирующими средствами (Т) и выходом (Out), причем узел (J) между коммутирующими средствами (Т) и сопротивлением (R1) заземлен.

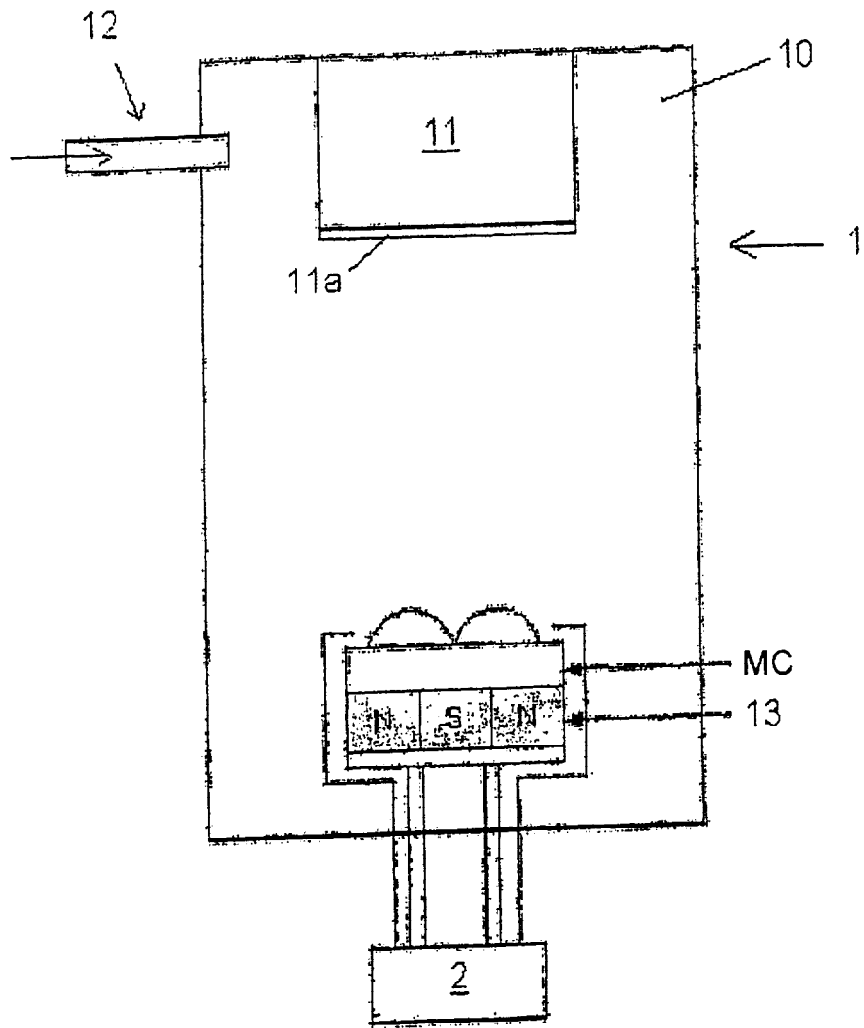
14. Источник питания по п.13, отличающийся тем, что сопротивление (R1) выбрано таким образом, что значение  $L/R1$  меньше 2,5 мкс, где L-эквивалентная индуктивность источника питания, а в предпочтительном случае меньше 0,5 мкс.

15. Источник питания по п.13, отличающийся тем, что содержит установленный между узлом (J) и землей диод (D3), обеспечивающий прохождение разрядного тока между выходом (Out) и землей, защищая коммутирующие средства (Т) от перенапряжения.

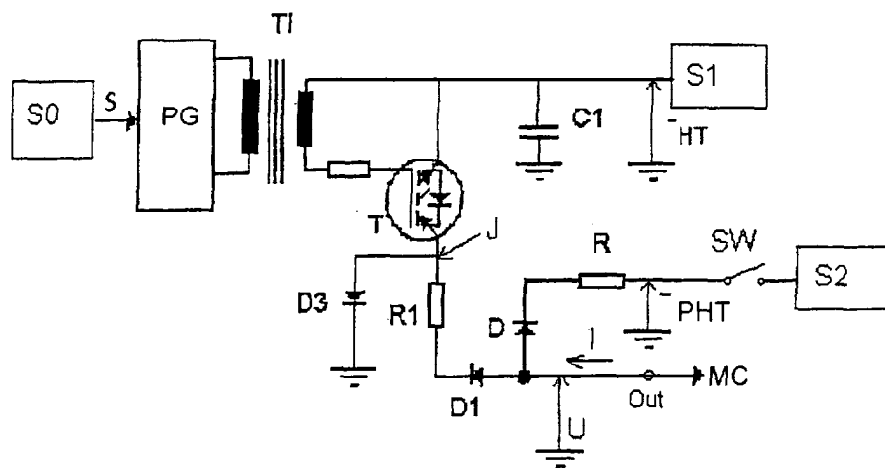
16. Источник питания по любому из пп.13-15, отличающийся тем, что указанные вторые средства, предназначенные для генерации напряжения предыонизации, содержат источник (S2) напряжения постоянного тока, соединенный с выходом (Out) через последовательно установленные сопротивление (R) и разделительный диод (D).

17. Магнетронный реактор (1), оснащенный импульсным источником питания по любому из пп.13-16, причем выход (Out) источника (2) питания соединен с катодом (МС) магнетрона.

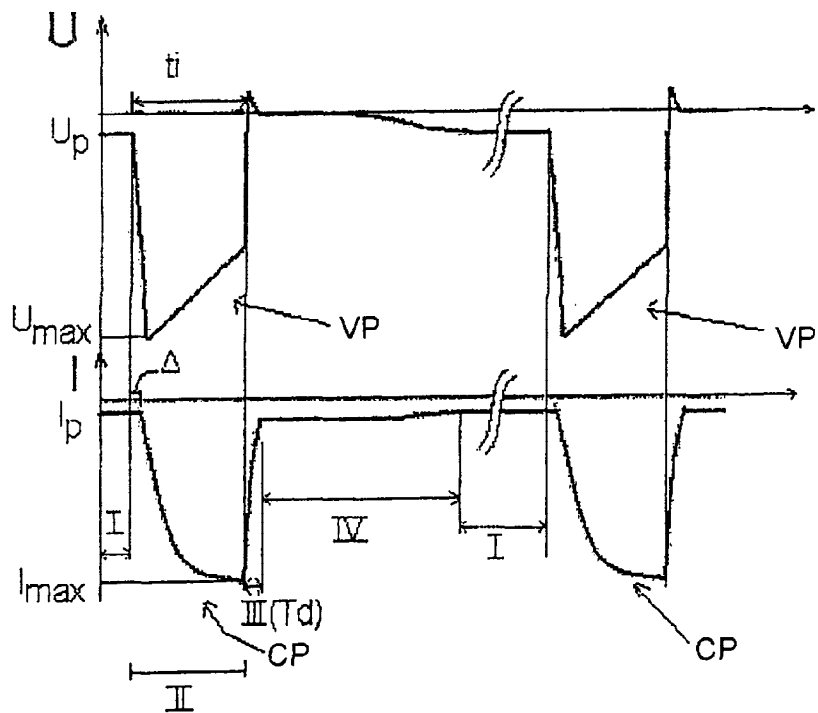




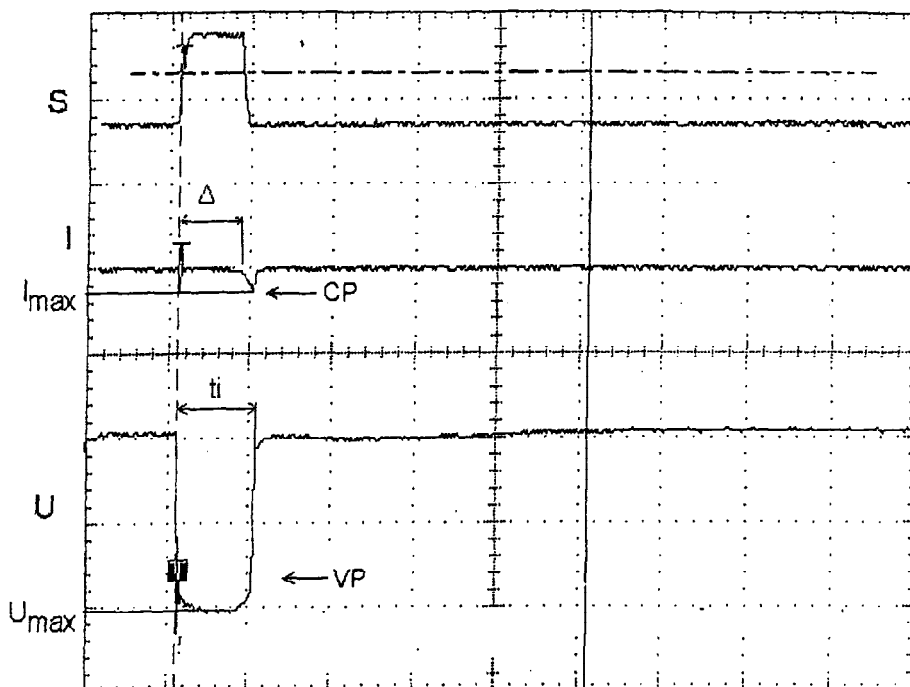
Фиг.1



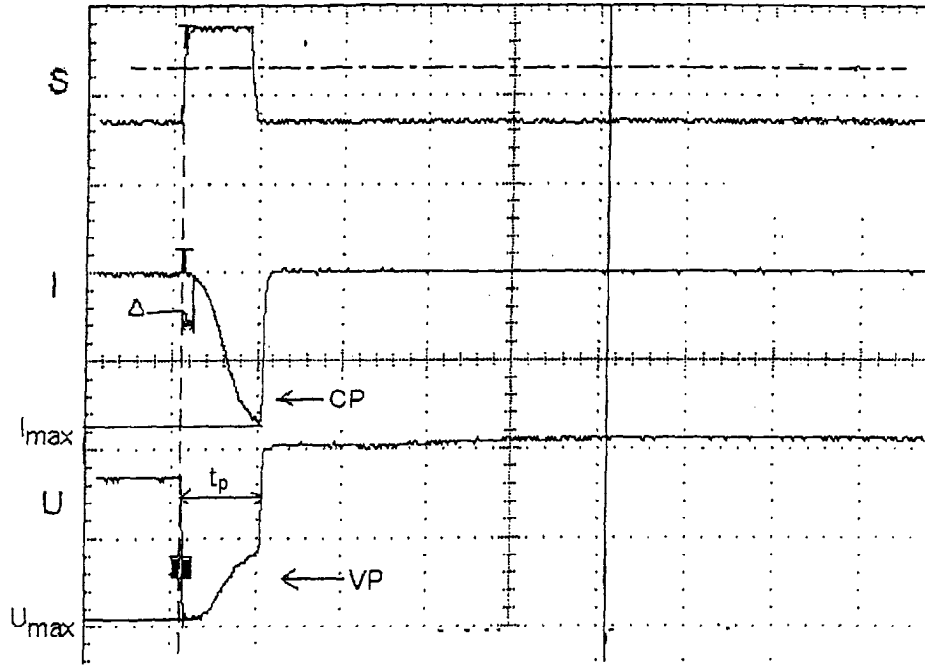
Фиг.2



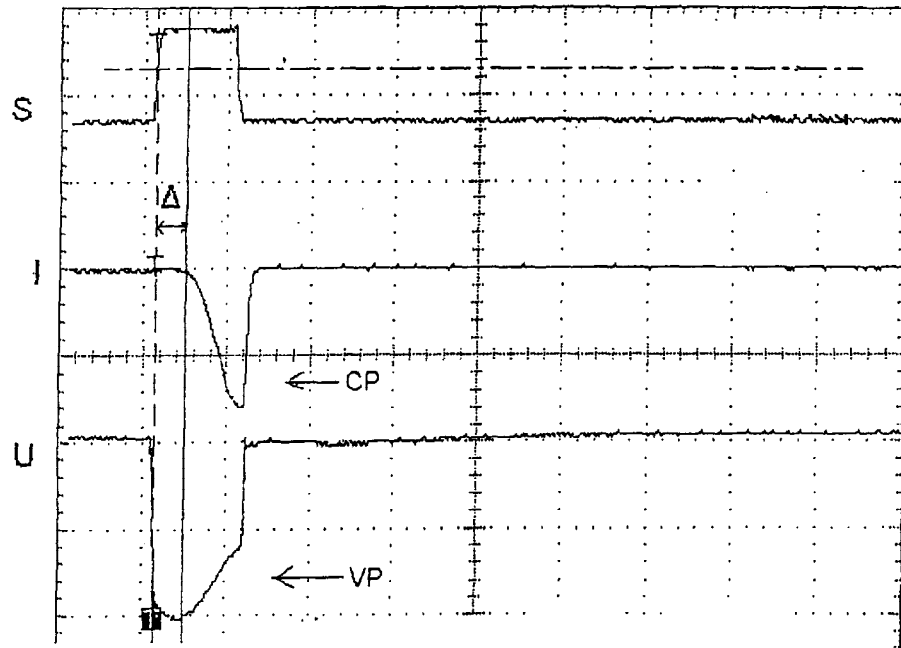
Фиг.3



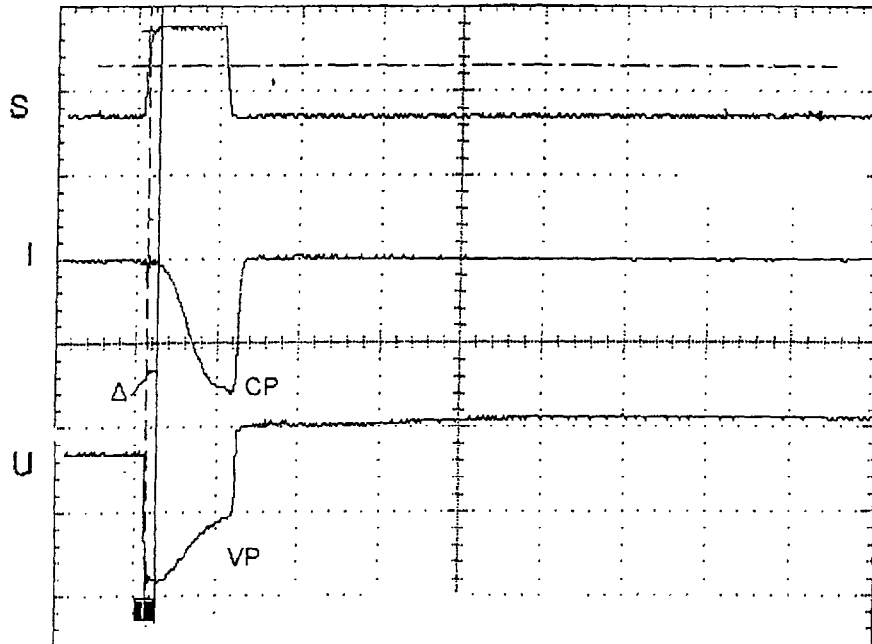
Фиг.4



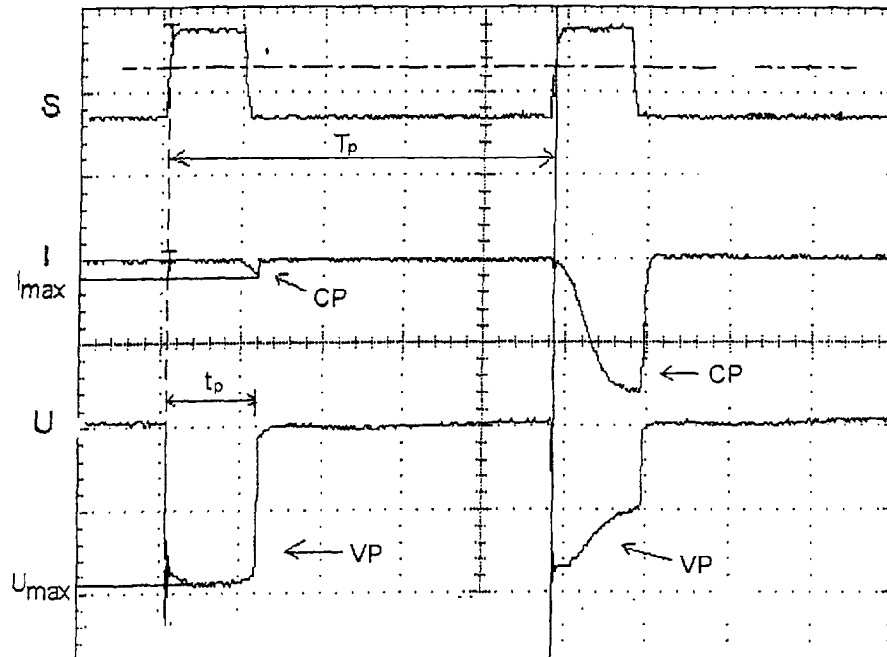
Фиг.5



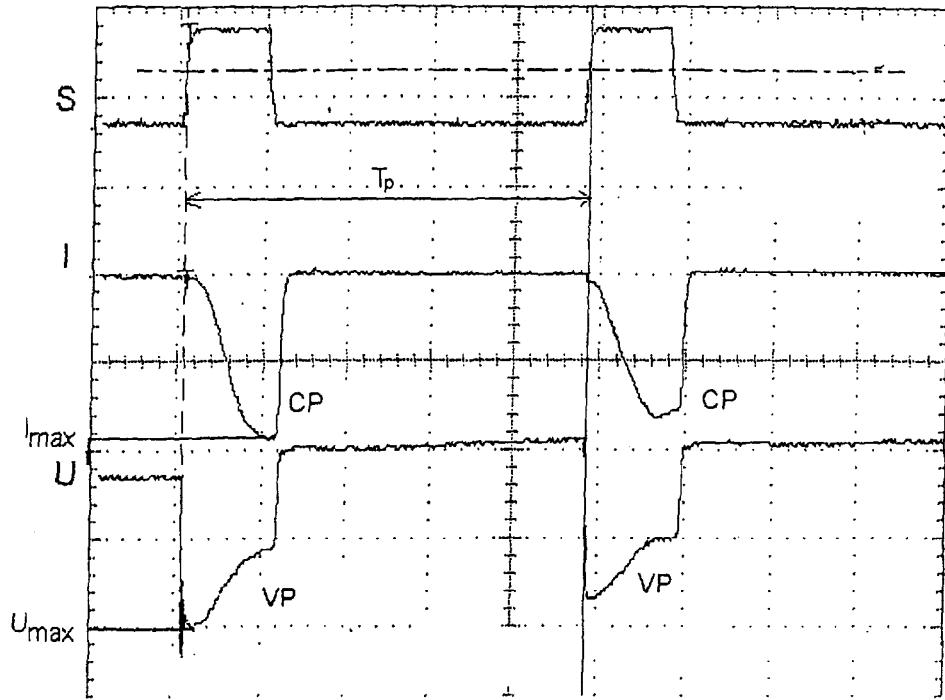
Фиг.6



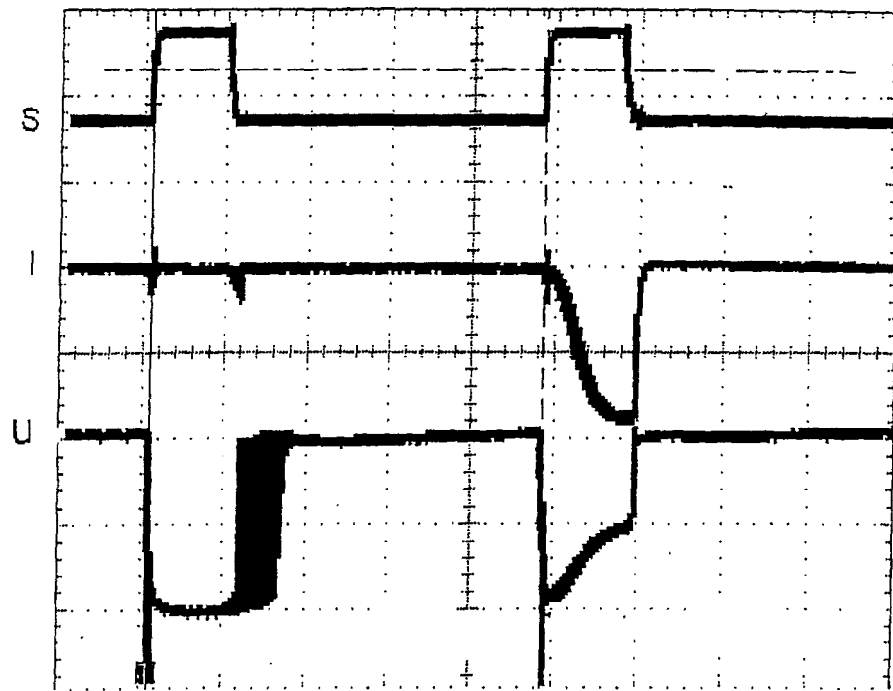
Фиг.7



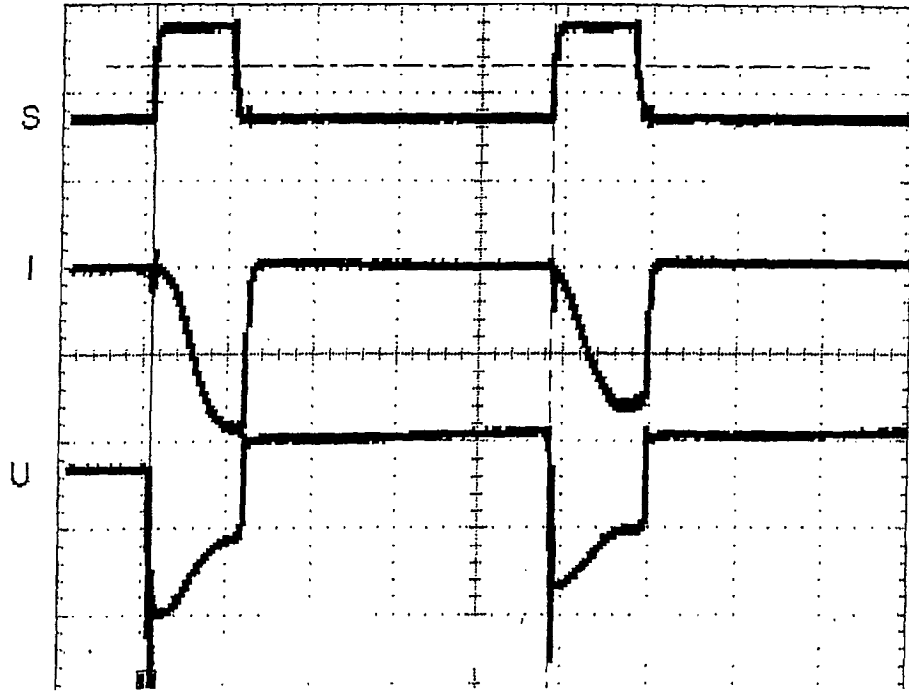
Фиг.8



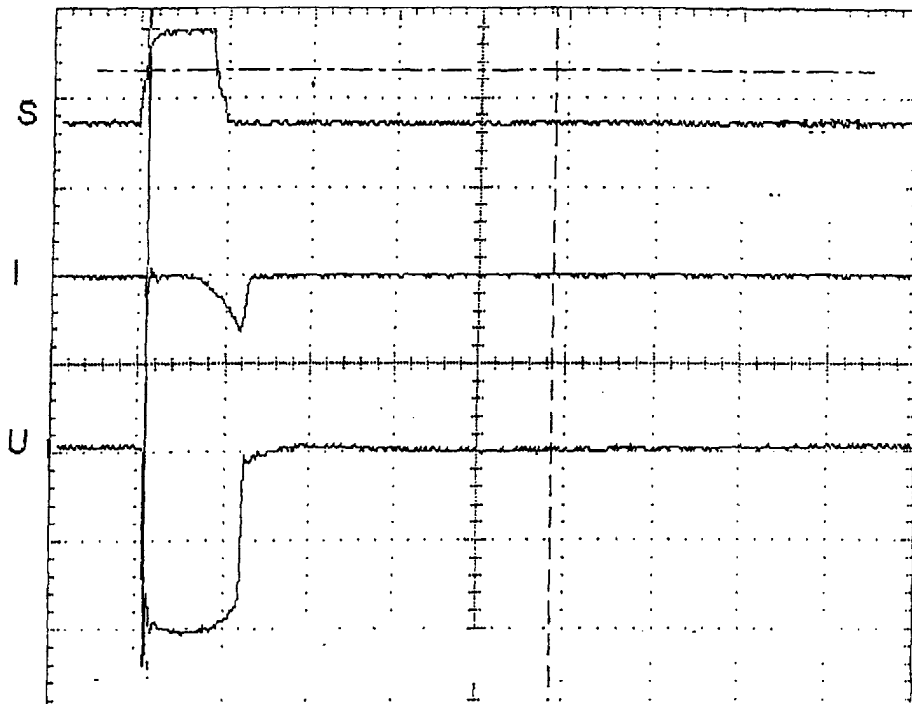
Фиг.9



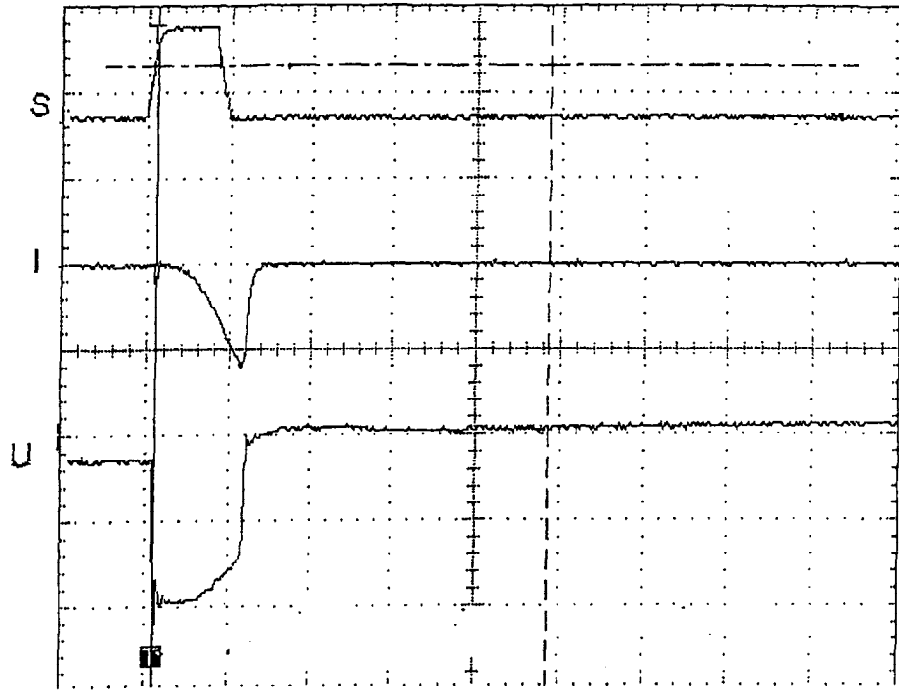
Фиг.10



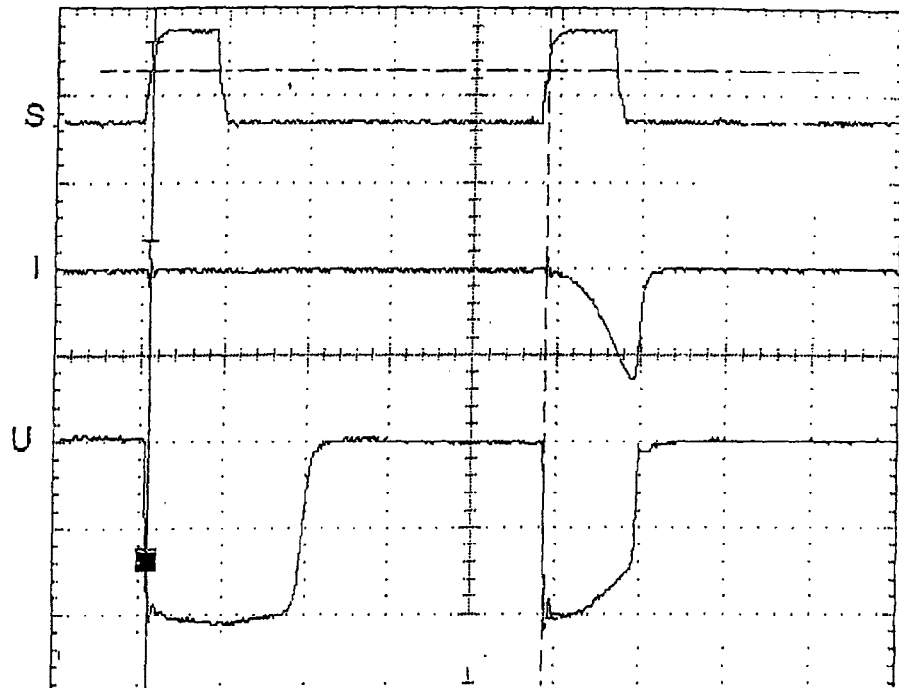
Фиг.11



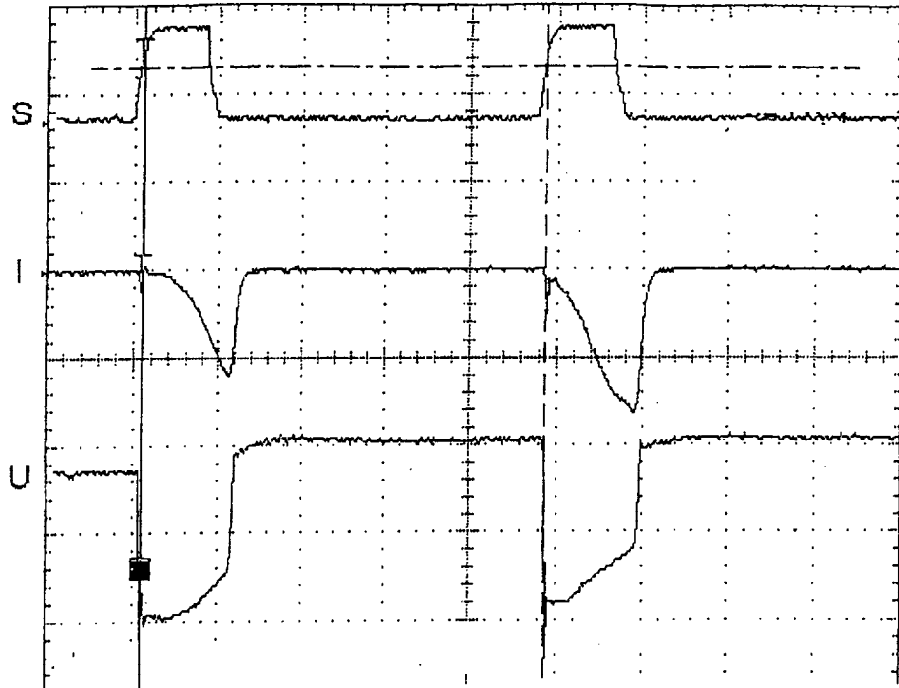
Фиг.12



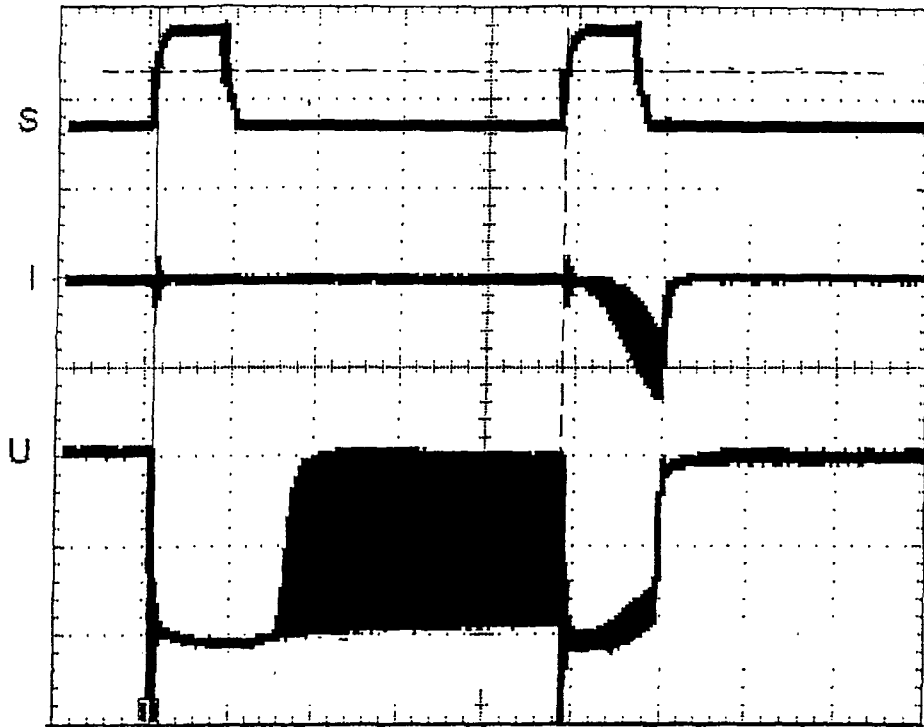
Фиг.13



Фиг.14

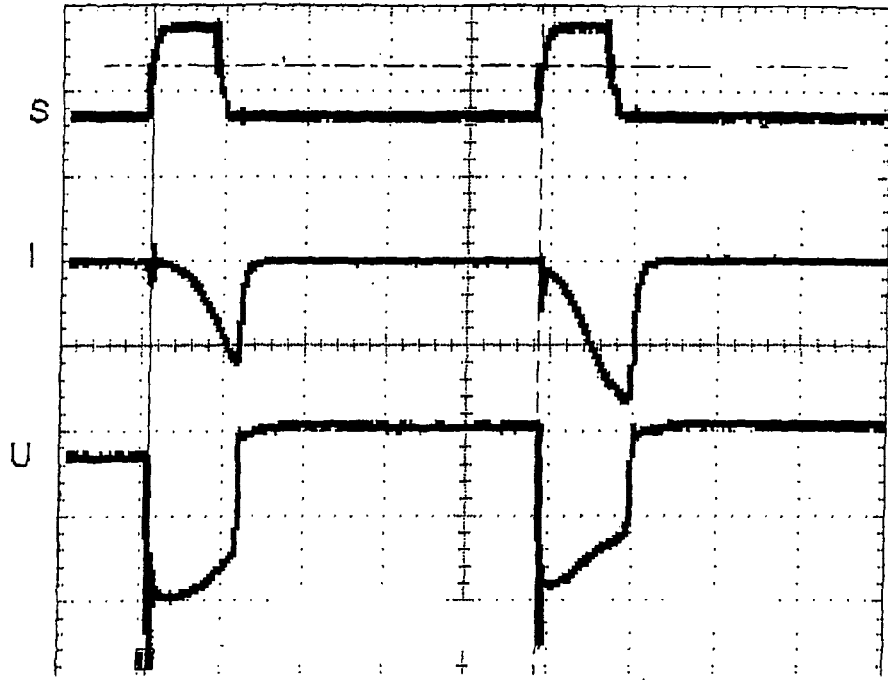


Фиг.15

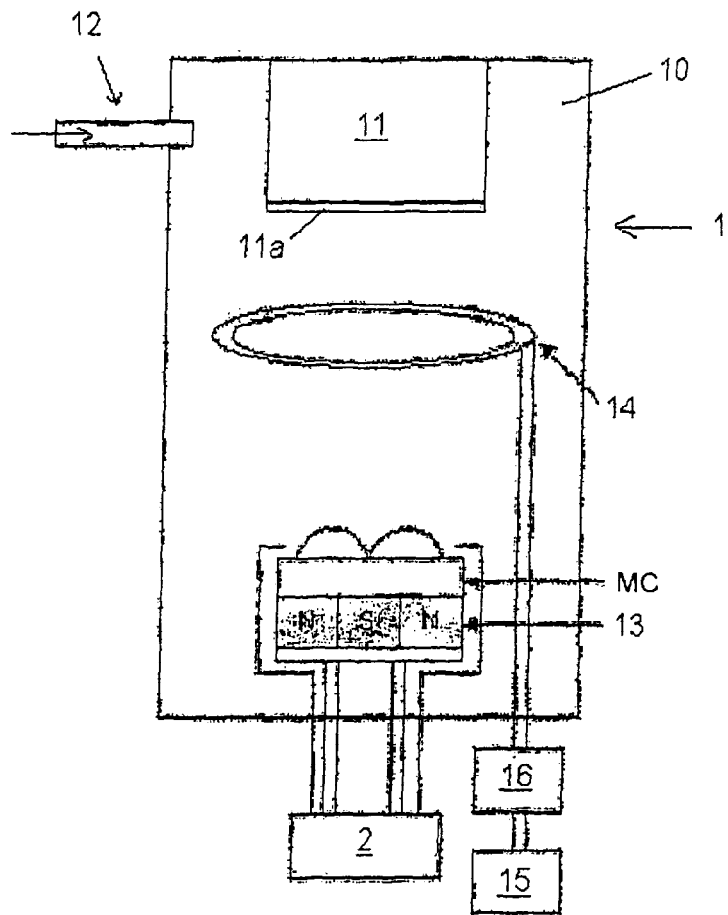


Фиг.16





Фиг.17



Фиг.18