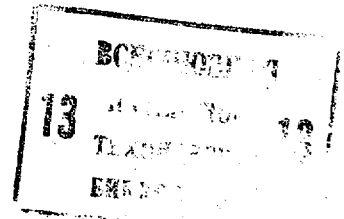




ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР  
ПО ДЕЛАМ ИЗОБРЕТЕНИЙ И ОТКРЫТИЙ

# ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ И АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ



(21) 3590878/25-27

(22) 18.05.83

(46) 30.08.84. Бюл. № 32

(72) Д.В.Лифанов, Ю.Н.Хлюпов  
и В.П.Царев

(71) Минский радиотехнический инсти-  
тут и Минский завод "Электроника"

(53) 621.791.763.1(088.8)

(56) 1. Колешко В.М. Ультразвуковая  
микросварка. М., "Наука и техника",  
1977, с. 302-311.

2. Россошинский А.А. Микросварка  
давлением. Киев, "Техника", 1971,  
с. 48 (прототип).

(54)(57) 1. СПОСОБ КОНТРОЛЯ ПРОЦЕССА  
МИКРОСВАРКИ ДАВЛЕНИЕМ, включающий  
определение силы прихватывания рабо-  
чего инструмента к приваренной микро-  
проволоке при отводе инструмента после  
снятия давления по окончании сварки  
и сравнение полученного значения,  
с эталонным, отличающийся тем,  
что, с целью повышения точности  
контроля, дополнительно измеряют ди-  
намическую силу отрыва рабочего инст-  
румента от приваренной микропроволо-  
ки, силу натяжения микропроволоки  
и скорость перемещения инструмента

при отрыве, а силу прихватывания оп-  
редляют по формуле

$$\varepsilon = \frac{Q_D - PK_D}{K_D}$$

где  $Q_D$  - динамическая сила отрыва  
инструмента от микропрово-  
локи;

$P$  - сила натяжения микропрово-  
локи;

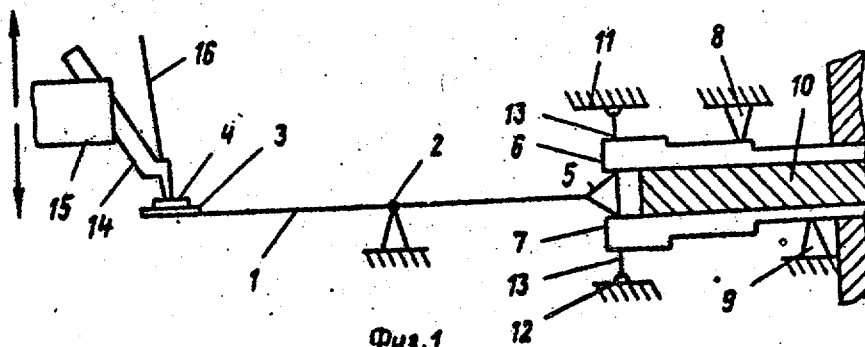
$K_D$  - коэффициент динамичности,  
учитывающий скорость пере-  
мещения инструмента при  
подъеме.

2. Способ по п. 1, отличаю-  
щийся тем, что определяют мини-  
мальную величину динамической силы  
отрыва, при которой происходит разру-  
шение сварного соединения, а также  
предел прочности  $[G_{cc}]$  при действии  
этой силы, и о качестве процесса  
микросварки судят по выполнению сле-  
дующего условия:

$$[G]_{cc} > K'_m \left( \frac{\varepsilon K_D + PK_D}{F_{cc}} \right)$$

где  $K'_m$  - условный коэффициент запа-  
са прочности;

$F_{cc}$  - площадь сварного соединения.



Изобретение относится к сварке в электронной промышленности и может быть использовано для контроля процесса микросварки давлением, выполняемой на сварных устройствах как с ручным, так и с автоматическим управлением.

Известны способы контроля процесса микросварки давлением, включающие определение оптимальных параметров процесса микросварки путем измерения механических и электрических характеристик сварных соединений в процессе их образования [1].

Однако по окончании цикла сварки при подъеме рабочего инструмента может произойти полное или частичное разрушение зоны сварного соединения. Известные способы контроля процесса микросварки не гарантируют сохранение качества образованного сварного соединения по окончании цикла сварки после отвода рабочего инструмента.

Известен способ контроля процесса микросварки давлением, включающий снятие давления по окончании сварки, определение силы прихватывания рабочего инструмента к приваренной микропроволоке при отводе инструмента и сравнение ее с эталонной [2].

Недостатком известного способа является то, что в процессе контроля не учитывается сила натяжения микропроволоки при вытягивании ее из бабана установки, а также скорость перемещения сварочного инструмента при отводе его от микропроволоки, что приводит к снижению качества сварки, низкой точности контроля.

Цель изобретения - повышение точности контроля.

Поставленная цель достигается тем, что согласно способу контроля процесса микросварки давлением, включающему определение силы прихватывания рабочего инструмента к приваренной микропроволоке при отводе инструмента после снятия давления по окончании сварки и сравнение полученного значения с эталонным, дополнительно измеряют динамическую силу отрыва рабочего инструмента от приваренной микропроволоки; силу натяжения микропроволоки и скорость перемещения инструмента при отрыве, а силу прихватывания определяют по формуле

$$\varepsilon = \frac{Q_D - PK_D}{K_D}, \quad (1)$$

где  $Q_D$  - динамическая сила отрыва инструмента от микропроволоки;

5  $P$  - сила натяжения микропроволоки;

$K_D$  - коэффициент динамичности, учитывающий скорость перемещения инструмента при подъеме.

10 Кроме того, определяют минимальную величину динамической силы отрыва, при которой происходит разрушение сварного соединения, а также  
15 предел прочности  $[\sigma]_{cc}$  при действии этой силы, и о качестве процесса микросварки судят по выполнению следующего условия:

$$20 \quad [\sigma]_{cc} \geq K'_m \left( \frac{\varepsilon K_D + PK_D}{F_{cc}} \right),$$

где  $K'_m$  - условный коэффициент запаса прочности;

25  $F_{cc}$  - площадь сварного соединения.

До подъема инструмента, т.е. в период действия сжимающего сварного усилия, сила натяжения проволоки не  
30 оказывает отрывного усилия на зону сварного соединения, так как компенсирована сжимающим усилием со стороны инструмента, и лишь с момента снятия сжимающего усилия и подъема инструмента отрывное усилие за счет силы  
35 натяжения проволоки возрастает пропорционально ускорению перемещения инструмента. Следовательно, суммарная сила отрыва, воздействующая на  
40 зону сварного соединения, складывается из силы прихватывания  $\varepsilon$  и силы натяжения проволоки  $P$

$$45 \quad Q_D = \varepsilon \frac{d^2x}{dt^2} + P \frac{d^2x}{dt^2} \quad (2)$$

Поскольку при ударном характере нагрузок, как известно, напряжения в материале будут больше, чем при статическом действии тех же нагрузок, для сил  $\varepsilon$  и  $P$  вводится поправка в виде коэффициента динамичности  $K_D$ , в котором учитывается ускорение перемещение инструмента, и формула принимает следующий вид:

$$55 \quad Q_D = \varepsilon K_D + PK_D \quad (3)$$

Далее получают из формулы (3) формулу для расчета силы прихватывания

$$\varepsilon = \frac{Q_D - P \cdot K_D}{K_D} \quad (4)$$

Для расчета числового значения коэффициента динамичности пользуются следующими формулами:

$$K_D = 1 + \sqrt{\frac{V^2}{g \cdot \Delta h_c}} \quad (5)$$

где  $V$  - скорость перемещения инструмента при отрыве;

$g$  - ускорение свободного падения;

$\Delta h_c$  - статическое удлинение проволоки до отрыва

$$h_c = \frac{[\sigma_a] \cdot h}{E} \quad (6)$$

$[\sigma_a]$  - предел прочности материала проволоки при растяжении;

$h$  - толщина проволоки под торцом инструмента после приложения сжимающего усилия.

Толщина проволоки под торцом инструмента определяется из следующего условия:

$$\eta = d/2 \quad (7)$$

где  $d$  - диаметр микропроволоки.

Поскольку в процессе микросварки давлением деформация проволоки составляет 50%, то в формуле (7) делитель равен 2.

В период контроля процесса микросварки давлением в зонах контакта различных поверхностей (инструмент-проволока, проволока-контактная площадка) знак механических напряжений изменяется. Во время сварного цикла это напряжения сжатия, а с момента подъема инструмента, в случае действия отрывной силы, - напряжения растяжения. Известно, что величина предела выносливости материала в значительной степени зависит от соотношения между крайними значениями изменяющегося напряжения. Следовательно, разрыв адгезионных связей в зонах контакта в условиях знакопеременной нагрузки происходит при меньших напряжениях, а значит и при меньшей деформации материала.

Статическое удлинение микропроволоки до отрыва  $\Delta h_c$  рассматривает-

ся как предельное значение деформации проволоки при достижении предела прочности материала. Поскольку в условиях ударных нагрузок закон Гука о пропорциональной зависимости напряжение - деформация сохраняет свою силу, то истинное перемещение инструмента  $X$  за время действия отрывной силы можно представить в виде уравнения

$$X = c \cdot \Delta h_c \quad (8)$$

Для применяемых в качестве проволочных выводов металлов алюминия и золота экспериментально установлено, что числовой коэффициент  $C$  для случая несимметричного цикла нагрузок находится в пределах 0,24-0,32 и зависит как от качества материала проволоки (наличие включений, нарушение режимов термообработки и хранения), так и от состояния поверхности проволоки (трещины, раковины и т.д.), а среднее его значение равно 0,28.

Таким образом, при расчете коэффициента динамичности скорость перемещения инструмента при отрыве определяется как

$$V = \frac{X}{t}$$

где  $X$  - истинное перемещение;

$t$  - время действия динамической силы отрыва.

Определив силу прихватывания  $\varepsilon$ , ее можно сравнить с эталонной величиной и оценить качество рабочего инструмента сварной установки.

В процессе прохождения технологических обработок в материалах происходит накопление структурных дефектов, что приводит к разбросу прочностных характеристик контактных структур даже между однотипными контактными структурами кристаллов разных партий изготовления и заводов-изготовителей. Таким образом, для одних типов контактных структур одно значение динамической силы отрыва допустимо и не влечет к последующему отказу сварного соединения на стадиях испытания и эксплуатации, а для других - может стать причиной отказа сварного соединения и, следовательно, всего изделия. Для обеспечения требуемых прочностных характеристик сварных соединений проволочных выводов в больших гибридных интегральных схемах (БГИС), содержащих до нескольких десятков различных типов контактных структур, необходимо обеспечить дифференцированный ре-

жим микросварки для каждого типа контактной структуры.

Критерием качества сварного соединения можно принять механическую прочность, которая контролируется различными методами и, в частности, путем измерения прочности на отрыв.

Используют действие динамической силы отрыва непосредственно после окончания сварного цикла в качестве контрольной нагрузки.

Для изменения динамической силы отрыва, с целью определения прочности сварного соединения, достаточно изменить значение любой ее составляющей. Для термокомпрессионной сварки и сварки расцепленным электродом предпочтительно изменять силу прихватывания, используя ранее калиброванные инструменты или скорость отвода инструмента. Для изменения динамической силы отрыва устройства ультразвуковой сварки удобнее изменять силу натяжения проволоки. В любом случае изменение значения любой составляющей ведет к пропорциональному изменению динамической силы отрыва. Если для конкретного типа контактной структуры провести серию контрольных сварок при постоянно возрастающей, например, силе натяжения проволоки, причем для каждого значения динамической силы отрыва проводить свою серию (10-15) контрольных сварок, то определяется значение минимальной динамической силы отрыва, вызывающей разрушение сварного соединения. Ввиду того, что параметры сварного цикла остаются неизменными, а следовательно, и площадь сварного соединения остается постоянной, можно определить предел прочности сварного соединения микропроволоки с данным типом контактной структуры по формуле

$$[\sigma]_{cc} = \frac{Q_{D \min}}{F_{cc}}, \quad (9)$$

где  $[\sigma]_{cc}$  - предел прочности сварного соединения;

$Q_{D \min}$  - минимальное значение динамической силы отрыва, разрушающей сварное соединение;

$F_{cc}$  - площадь сварного соединения.

Для достижения стабильного качества сварных соединений с данным типом контактной структуры необходимо, чтобы на каждой установке для микросвар-

ки были идентичные режимы сварного цикла и обеспечивалось выполнение следующего условия:

$$[\sigma]_{cc} > K'_m \left( \frac{\epsilon \cdot K_D + P \cdot K_D}{F_{cc}} \right), \quad (10)$$

где  $K'_m$  - условный коэффициент запаса прочности.

$$K'_m = \frac{[\sigma]_{cc}}{[\sigma]_{kc}}, \quad (11)$$

где  $[\sigma]_{kc}$  - условное безопасное напряжение контактной структуры, не вызывающее разрушения в течение длительного промежутка времени.

Условное безопасное напряжение контактной структуры определяется меньшим значением прочности одного из материалов, входящего в контактную структуру, или меньшим значением адгезии между слоями контактной структуры по формуле

$$[\sigma]_{kc} = \frac{\sigma_{np}}{K},$$

где  $\sigma_{np}$  - меньшая прочность материала или адгезии слоев контактной структуры на растяжение;

$K$  - коэффициент запаса.

На фиг. 1 схематически изображено устройство в виде мерного щупа для реализации предлагаемого способа; на фиг. 2 - устройство для второго этапа контроля.

Мерный щуп содержит уравновешенную балку 1, центральной частью опирающуюся на шарнирную опору 2. На противоположных концах балки имеются площадка 3 для размещения контрольного образца 4 и противовес 5. Последний размещен между верхней 6 и нижней 7 пластинами переменного сопротивления, жесткость на изгиб которых может изменяться в зависимости от положения ползунков 8 и 9, которые прижимают пластины к опорной плите 10. Над свободными концами пластин 6 и 7 соосно установлены соответственно верхний 11 и нижний 12 полупроводниковые тензодатчики, корундовые иглы 13 которых упираются в поверхности соответствующих пластин.

Каждый тензодатчик включен в плечо измерительного моста, а последние через соответствующие усилители напряжения подключены к выходу запоминающего осциллографа (не показан). 5

На первом этапе осуществления способа контроля процесса микросварки давлением оценивается сила прихвата рабочего инструмента сварного устройства к микропроволоке. 16

В качестве примера реализации способа определяют величину силы прихвата для инструмента с боковым отверстием для подачи проволоки (алюминий) 100 мкм на полуавтоматической установке ультразвуковой сварки типа ЭМ-423. 15

Между предметным столиком, используемым для фиксации изделия на время проведения сварочных операций по присоединению проволочных межсоединений, на определенной высоте от его поверхности непосредственно под торцом рабочего инструмента 14 (фиг. 1), прикрепленного к концентратору ультразвуковых колебаний 15 и снабженного проволокой 16, помещают площадку 3 мерного щупа с контрольным образцом 4, например кристалл интегральной схемы КР188РУ2. Ранее мерный щуп калибруется. Подают электропитание на приборы и производят контрольную сварку на контактную площадку контрольного образца 4, причем с появлением электрического сигнала на выходе усилителя измерительного моста тензодатчика 12 автоматически в режим запоминания включается осциллограф (С2-21), и на его экране воспроизводится форма импульса отрывной силы. По вертикальной шкале осциллографа определяется максимальное значение амплитуды сигнала, соответствующее максимальному значению динамической силы отрыва в ньютонах, а по горизонтальной шкале - длительность импульса (силы отрыва) в секундах. По окончании считывания данных вручную осуществляется сброс изображения на экране осциллографа. Если ранее установленное значение силы отрыва на шкале ползуна 9 или длительность измеряемого импульса, устанавливаемая на осциллографе, не соответствуют диапазону измеряемого сигнала, ожидаемые значения выставляются заново и контрольную сварку повторяют. 20 25 30 35 40 45 50 55

Мерный щуп устроен так, что максимальное перемещение противовеса 5 ограничено упором и не превышает 5 мкм, что обеспечивает защиту тензодатчиков от случайных перегрузок.

При измерении динамической силы отрыва указанным инструментом получены следующие значения: динамическая сила отрыва  $Q_D = 0,8$  Н, длительность действия отрывной силы  $t = 1 \cdot 10^{-5}$  с.

Расчитывают  $\Delta h_c$  по формуле (6), имея следующие данные на алюминиевую проволоку: модуль Юнга  $E_{Al} = 6,4 \cdot 10^{10}$  Н/м<sup>2</sup>; предел прочности  $[\sigma_{\sigma}]_{Al} = 4,9 \cdot 10^7$  Н/м<sup>2</sup>.

Толщина проволоки под торцом инструмента  $h$  согласно (7) составляет  $h = 1 \cdot 10^{-4} / 2 = 0,5 \cdot 10^{-4}$  м

Определяют статическое удлинение проволоки

$$\Delta h_c = \frac{4,9 \cdot 10^7 \cdot 0,5 \cdot 10^{-4}}{6,4 \cdot 10^{10}} = 0,38 \cdot 10^{-7} \text{ м.}$$

Таким образом, перемещение инструмента за время действия отрывной силы составляет

$$X = 0,28 \cdot 0,38 \cdot 10^{-7} = 0,1 \cdot 10^{-7} \text{ м.}$$

Измеренная ранее с помощью динамометра сила натяжения проволоки составила  $P = 0,1$  Н.

По формуле (5) определяют коэффициент динамичности

$$V = \frac{0,1 \cdot 10^{-7}}{1 \cdot 10^{-5}} = 0,1 \cdot 10^{-2} \text{ м/сек}$$

$$K_D = 1 + \sqrt{\frac{(0,1 \cdot 10^{-2})^2}{9,8 \cdot 0,38 \cdot 10^{-7}}} = 2,64$$

Подставляя в формулу (4) измеренные значения, а также рассчитанное значение для  $K_D$ , определяют силу прихвата инструмента

$$\varepsilon = \frac{0,8 - 0,1 \cdot 2,64}{2,64} = 0,20 \text{ Н}$$

Сравнивают полученную величину с эталонной.

Для осуществления второго этапа контроля процесса микросварки используют устройство для изменения силы натяжения проволоки (фиг. 2).

Устройство содержит расположенные с противоположных сторон проволоки 17 прижим 18, обладающий высокой чистотой поверхности, обращенной к проволоке, и резиновый валик 19. Указанные элементы устройства расположены в промежутке между выходом

провода из барабана и входом в рабочий инструмент. Прижим 18 является подвижной частью электромагнита 20, а валик 19 находится на валу электродвигателя 21.

Устройство изменения силы натяжения проволоки работает следующим образом.

Со схемы управления ультразвуковым генератором установки УЗ сварки в момент включения УЗ генератора поступает электрический сигнал на схему управления электромагнитом 20 и электродвигателем 21 (не показано), а схема управления включает электромагнит 20, что обеспечивает перемещение прижима 18 и прижатие проволоки 17 к торцовой поверхности резинового валика 19. Одновременно с электромагнитом 20 схема управления включает электродвигатель 21, что обеспечивает сообщение вращающего момента валику 19. Стремясь повернуться в направлении, указанном на фиг. 2 стрелкой, валик 19 передает посредством трения перемещение проволоке и перемещает ее по поверхности прижима 18 по тех пор, пока вращающий момент валика 19, пропорциональный силе тока электродвигателя уравнивается силой натяжения проволоки. Таким образом, задавая силу тока электродвигателя, можно нормированно изменять силу натяжения проволоки.

Схема управления электродвигателем 21 и электромагнитом 20 подключена к выходу усилителя тензодатчика 12 (фиг. 1), что обеспечивает в момент падения напряжения сигнала (момент прекращения действия динамической силы отрыва) отключение электродвигателя 21 и электромагнита 20, т.е. перевод прижима 18 в исходное положение.

Ранее устройство для изменения силы натяжения проволоки калибруется, что обеспечивает задание требуемой силы натяжения проволоки в ньютонах по шкале тока электродвигателя.

Контроль процесса микросварки продолжается в следующей последовательности.

На схему управления устройства для изменения силы натяжения проволоки подается электропитание, и по шкале тока электродвигателя устанавливается сила натяжения проволоки

в ньютонах, причем в качестве начального используют значение силы натяжения проволоки, измеренное ранее с помощью динамометра. Производится серия (10-15) сварок на контрольном образце 4 (фиг. 1), в процессе которых измеряется динамическая сила отрыва и визуально контролируется целостность сварного соединения.

В случае отсутствия разрушения сварного соединения в период проведения серии контрольных сварок, силу натяжения проволоки повышают до получения разрушения сварного соединения.

В момент разрушения сварного соединения на кристалле КР188РУ2 динамическая сила отрыва составляет 2Н. Определяют предел прочности разрушенного сварного соединения

$$F_{cc} = 1 \cdot 10^{-8} \text{ М}^2$$

$$[\sigma]_{cc} = \frac{2}{1 \cdot 10^8} = 2 \cdot 10^8 \text{ Н/М}$$

Для проведения расчета значения условного коэффициента запаса прочности  $K'_m$  определяют условно безопасное напряжение контактной структуры  $[\sigma]_{kc}$ .

Контактная структура кристалла КР188РУ2 состоит из кремния п-типа с диэлектрической изоляцией и осажденного на ней слоя алюминиевой металлизации. Для кремния с диэлектрической изоляцией ( $\text{SiO}_2$ ) известно следующее среднее значение прочности  $\sigma_{прSi} = 26 \cdot 10^7 \text{ Н/М}^2$ .

Адгезия алюминия к диэлектрической изоляции ( $\text{SiO}_2$ ) кремния после операции вкипания не уступает прочности на разрыв самого алюминия, т.е.

$$\sigma_{прAl} = \sigma_{ад} = 4,9 \cdot 10^7 \text{ Н/М}^2$$

Подставляют в формулу (12) найденное меньшее значение прочности материала контактной структуры - алюминия и значение коэффициента запаса, в данном случае берется для пластичных материалов, и рассчитывают условно безопасное напряжение контактной структуры

$$[\sigma]_{kc} = \frac{4,9}{2,6} = 1,8 \cdot 10^7 \text{ Н/М}^2$$

Далее по формуле (11) определяют условный коэффициент запаса прочности

$$K'_m = \frac{2 \cdot 10^8}{1,8 \cdot 10^7} \approx 11$$

По формуле (10) определяют, обеспечивают ли ранее измеренные и вычисленные значения составляющих динамической силы отрыва условию качества сварного соединения при  $K'_m = 11$   
 $2 \cdot 10^8 < 8,8 \cdot 10^8 \text{ Н/м}^2$

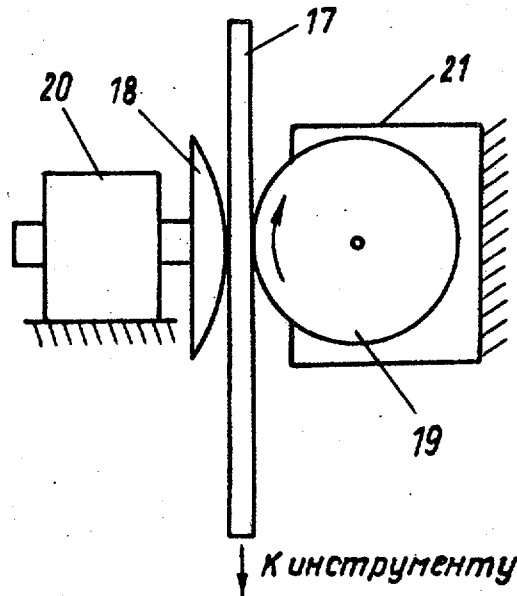
В рассмотренном случае условие качества не выполняется.

Причиной разрушения являются высокие значения силы прихватывания  $E$  и силы натяжения проволоки  $P$ . В данном случае инструмент необходимо заменить новым, а также путем замены катушки с проволокой в барабане или регулировкой барабана обеспечить снижение силы натяжения проволоки. В случае замены инструмента проводится контроль его качества, т.е. определяется сила прихватывания. Если снижение силы прихватывания и силы натяжения проволоки не обеспечивают выполнение условия качества, то снижают скорость отвода

инструмента (без существенного снижения производительности сварки). В случае невозможности выполнения условия (10) указанными приемами, проводят полное изменение режимов сварного цикла (изменяют силу прижима инструмента, время сварки и т.д.).

Контроль прочности сварного соединения и определение в результате его условного коэффициента запаса прочности в условии производства являются достаточным условием для исключения попадания на сборку партий кристаллов, не отвечающих условию качества (10).

Эффективность предлагаемого способа контроля процесса микросварки по сравнению с прототипом достигается путем повышения оперативности контроля процесса микросварки; значительного снижения брака на сварке, а также повышения эксплуатационной надежности сварных соединений.



Фиг. 2

Составитель А.Анохов  
 Редактор С.Лисина      Техред А.Бабинец      Корректор И.Эрдей

Заказ 6237/10      Тираж 1036      Подписное  
 ВНИИПИ Государственного комитета СССР  
 по делам изобретений и открытий  
 113035, Москва, Ж-35, Раушская наб., д. 4/5

Филиал ИПИ "Патент", г.Ужгород, ул.Проектная, 4