(19) SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) CH 715 093 A2

(51) Int. Cl.: G04B 15/08 (2006.01)
G04B 15/14 (2006.01)

Patentanmeldung für die Schweiz und Liechtenstein
Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) PATENTANMELDUNG

(21) Anmeldenummer: 00831/19

(22) Anmeldedatum: 19.06.2019

(43) Anmeldung veröffentlicht: 30.12.2019

(30) Priorität: 19.06.2018 JP 2018-116218

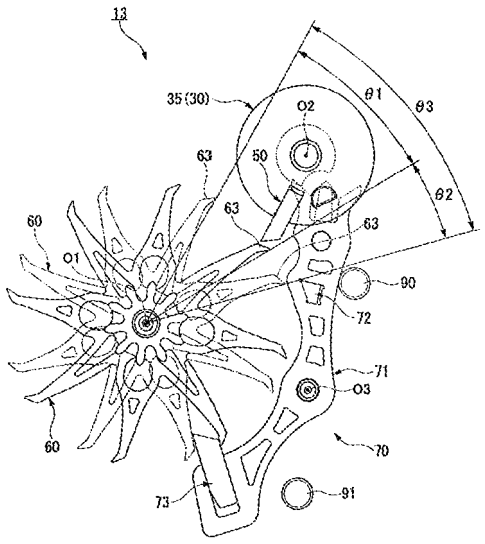
(71) Anmelder:
Seiko Instruments Inc., 8, Nakase 1-chome Mihama-ku
Chiba-shi Chiba (JP)

(72) Erfinder:
Koda Masayuki, Chiba-shi, Chiba (JP)
Fujieda Hisashi, Chiba-shi, Chiba (JP)
Shigeo Suzuki, Chiba-shi, Chiba (JP)

(74) Vertreter:
BOVARD SA Conseils en propriété intellectuelle,
Optingenstrasse 16
3013 Bern (CH)

(54) Échappement, mouvement de pièce d'horlogerie et pièce d'horlogerie.

(57) La présente invention concerne un échappement de type à impact mi-direct/mi-indirect. Ledit échappement (13) comporte un mobile d'échappement (60), qui tourne autour d'un premier axe (O1) en utilisant une énergie transmise, et un élément de contrôle (70), qui laisse tourner et arrête le mobile d'échappement (60) sur la base de la rotation d'un balancier-spiral (30), qui effectue une rotation alternée selon un premier sens de rotation et un deuxième sens de rotation, qui sont opposés l'un par rapport à l'autre, autour d'un deuxième axe (O2). Le mobile d'échappement (60) transmet directement l'énergie transmise au balancier-spiral (30) lorsque le balancier-spiral (30) tourne dans le premier sens de rotation et transmet indirectement l'énergie transmise au balancier-spiral (30) via l'élément de contrôle (70) lorsque le balancier-spiral (30) tourne dans le deuxième sens de rotation, et l'élément de contrôle (70) contrôle la rotation du mobile d'échappement (60) de telle manière qu'un premier angle d'action rotationnel (θ1) dans le cadre de la transmission directe de l'énergie du mobile d'échappement (60) au balancier-spiral (30) diffère d'un deuxième angle d'action rotationnel (θ2) dans le cadre de la transmission indirecte de l'énergie du mobile d'échappement (60) au balancier-spiral (30).



Beschreibung

ARRIÈRE-PLAN DE L'INVENTION

1. Domaine de l'invention

[0001] La présente invention se rapporte à un échappement, un mouvement de pièce d'horlogerie, et une pièce d'horlogerie.

2. Description de l'art antérieur

[0002] Généralement, une pièce d'horlogerie mécanique comprend un échappement qui transmet de l'énergie faisant effectuer une rotation alternée au balancier-spiral et contrôle le train d'engrenage sur la base d'une fréquence fixe en utilisant la rotation alternée régulière du balancier-spiral. Un échappement de ce type a progressé suite à des améliorations répétées et d'autres changements, et une variété de types d'échappement est désormais proposée maintenant.

[0003] En tant qu'échappement traditionnel pour pièces d'horlogerie mécaniques, l'échappement à ancre suisse est très largement répandu.

[0004] L'échappement à ancre suisse comprend principalement un mobile d'échappement, un double plateau agencé sur le balancier-spiral, et une ancre qui peut pivoter sur la base de la rotation alternée du balancier-spiral et comprend une palette d'entrée et une palette de sortie qui peuvent venir en prise avec les dents du mobile d'échappement puis s'en libérer. La palette d'entrée et la palette de sortie sont configurées pour pouvoir être alternativement mises en prise avec et libérées des dents du mobile d'échappement en réponse au mouvement de pivotement de l'ancre.

[0005] L'échappement à ancre suisse, dans lequel la palette d'entrée et la palette de sortie se mettent alternativement en prise avec les dents du mobile d'échappement puis s'en libèrent en réponse au mouvement de pivotement de l'ancre, peut non seulement contrôler la rotation du mobile d'échappement, mais aussi transmettre indirectement l'énergie transmise au mobile d'échappement au balancier-spiral via l'ancre pour fournir une énergie en rotation (couple) au balancier-spiral.

[0006] Il est, cependant, généralement connu qu'un échappement à ancre suisse possède une faible efficacité de transmission (efficacité d'échappement) avec laquelle le couple est transmis du mobile d'échappement au balancier-spiral via l'ancre, et il existe par conséquent des possibilités d'amélioration dans l'efficacité de transmission du couple.

[0007] Pour améliorer l'efficacité de transmission en termes de couple, par exemple, on connait un échappement à ancre suisse dans lequel l'angle d'action rotationnel du mobile d'échappement au moment du contact entre les dents du mobile d'échappement et la palette d'entrée et l'angle d'action rotationnel du mobile d'échappement au moment du contact entre les dents du mobile d'échappement et la palette de sortie sont configurés pour ne pas être uniformes (voir le brevet suisse No. 570 644 (document de brevet 1), par exemple).

[0008] Dans ce cas, le bilan d'approvisionnement entre la quantité de couple transmis de la palette d'entrée au balancier-spiral via l'ancre et la quantité de couple transmis de la palette de sortie au balancier-spiral via l'ancre peut être ajusté pour être optimal, ce grâce à quoi l'efficacité de transmission du couple peut être améliorée.

[0009] Comme autre exemple, il existe, par exemple, un échappement à ancre suisse connu qui comprend un mobile d'échappement ayant une structure à deux étages dans lequel une première roue d'échappement et une deuxième roue d'échappement sont superposées coaxialement l'une sur l'autre, et dans lequel la palette d'entrée est incitée à venir en contact avec les dents de la première roue d'échappement, et la palette de sortie est incitée à venir en contact avec les dents de la deuxième roue d'échappement (voir le brevet japonais No. 4 894 051 – document de brevet 2 – et la demande de brevet européen publiée No. 1 914 605 – document de brevet 3 – par exemple).

[0010] Dans ce cas, puisque la combinaison entre la palette d'entrée et la première roue d'échappement, et la combinaison entre la palette de sortie et la deuxième roue d'échappement peuvent être conçues séparément, l'angle d'action rotationnel du mobile d'échappement au moment du contact entre les dents de la première roue d'échappement et la palette d'entrée, et l'angle d'action rotationnel du mobile d'échappement au moment du contact entre les dents de la deuxième roue d'échappement et la palette de sortie peuvent être ajustés pour ne pas être uniformes, ce qui permet d'améliorer l'efficacité de transmission de couple, comme dans le cas décrit ci-dessus.

[0011] En tant qu'encore un autre exemple, on connaît, par exemple, un échappement à ancre suisse qui comprend un mobile d'échappement ayant des premières dents d'échappement et des deuxièmes dents d'échappement configurées de manière à être décalées les unes des autres dans le sens de l'épaisseur et dans lesquelles la palette d'entrée est incitée à entrer en contact avec n'importe laquelle des premières dents d'échappement et la palette de sortie et incitée à entrer en contact avec n'importe laquelle des deuxièmes dents d'échappement (voir le brevet japonais publié No. 2018-48 958 – document de brevet 4 – par exemple).

[0012] Dans ce cas, puisque les premières dents d'échappement et les deuxièmes dents d'échappement peuvent être conçues séparément, l'angle d'action rotationnel du mobile d'échappement au moment du contact entre les premières dents d'échappement et la palette d'entrée, et l'angle d'action rotationnel du mobile d'échappement au moment du contact

entre les deuxièmes dents d'échappement et la palette de sortie peuvent être réglées de manière à ne pas être uniformes, et l'efficacité de transmission de couple peut ainsi être également améliorée, comme dans les cas décrits ci-dessus.

[0013] La variété des types d'échappement à ancre suisse décrits ci-dessus, consistent chacun, cependant, en ce que l'on appelle un échappement à type d'impact indirect, où le couple est transmis du le mobile d'échappement au balancier-spiral via l'ancre. L'efficacité de transmission de couple est par conséquent insuffisante, et il y a encore une marge d'amélioration en termes d'efficacité de transmission de couple.

[0014] En tant qu'échappement ayant une efficacité de transmission de couple plus haute que celle d'un échappement à ancre suisse, on connaît, par exemple, l'échappement coaxial comprenant un mobile d'échappement ayant une structure à deux niveaux dans lequel deux roues d'échappement sont disposées coaxialement de manière superposée l'une sur l'autre (voir la demande de brevet européen publiée sous le No. 0 018 796 – document de brevet 5 – par exemple).

[0015] Un échappement coaxial comprend une première palette d'impact, une ancre munie d'une première palette d'arrêt et d'une deuxième palette d'arrêt, et une deuxième palette d'impact fixée au balancier-spiral. La première palette d'impact est configurée de manière à pouvoir être amenée en contact avec une première roue d'échappement en réponse au mouvement de pivotement de l'ancre. La deuxième palette d'impact est configurée de manière à pouvoir être amenée en contact avec une deuxième roue d'échappement en réponse à la rotation du balancier-spiral. La première palette d'arrêt et la deuxième palette d'arrêt sont configurées pour pouvoir être alternativement engagées avec la deuxième roue d'échappement et libérées de celle-ci en réponse au mouvement de pivotement de l'ancre.

[0016] L'échappement coaxial ainsi configuré, dans lequel la première palette d'arrêt et la deuxième palette d'arrêt viennent alternativement en prise avec la deuxième roue d'échappement et s'en libèrent en réponse au mouvement de pivotement de l'ancre, peut contrôler la rotation du mobile d'échappement. En outre, puisque la première palette d'impact vient en contact (en collision) avec la première roue d'échappement en réponse au mouvement de pivotement de l'ancre, l'énergie transmise au mobile d'échappement peut être transmise indirectement au balancier-spiral via l'ancre, ce qui permet un réapprovisionnement en couple du balancier-spiral. De plus, puisque la deuxième palette d'impact vient en contact (en collision) avec la pointe de n'importe quelle dent de la deuxième roue d'échappement en réponse à la rotation du balancier-spiral, l'énergie transmise au mobile d'échappement peut être directement transmise au balancier-spiral, ce qui permet un réapprovisionnement du balancier-spiral en couple.

[0017] L'échappement coaxial est par conséquent qualifié d'échappement de type à impact mi-direct/mi-indirect, où une transmission d'énergie indirecte via l'ancre et une transmission d'énergie directe via aucune ancre sont effectuées alternativement pour transmettre l'énergie transmise au mobile d'échappement au balancier-spiral, (c'est-à-dire un échappement utilisant un impact direct et un impact indirect). L'échappement coaxial est par conséquent considéré comme étant un échappement ayant une efficacité de transmission de couple (efficacité d'échappement) plus haute que celui de l'échappement à ancre suisse.

[0018] Toutefois, même l'échappement de type à impact mi-direct/mi-indirect représenté par les échappements coaxiaux des arts antérieurs décrits ci-dessus, pourrait avoir une efficacité de transmission de couple encore améliorée davantage, et il existe encore des possibilités d'amélioration.

RÉSUMÉ DE L'INVENTION

[0019] Selon un aspect de la présente application, on fournit un échappement de type à impact mi-direct/mi-indirect, un mouvement de pièce d'horlogerie, et une pièce d'horlogerie qui excellent en efficacité de transmission de couple (efficacité d'échappement).

[0020] (1) Un échappement selon l'aspect de la présente demande de brevet inclut un mobile d'échappement qui tourne autour d'une première ligne axiale en utilisant une énergie de transmission et un élément de contrôle qui fait tourner et arrête le mobile d'échappement sur la base de la rotation d'un balancier-spiral qui effectue une rotation alternée dans un premier sens de rotation et un deuxième sens de rotation opposés autour d'une deuxième ligne axiale. Le mobile d'échappement transmet directement l'énergie transmise au balancier-spiral lorsque le balancier-spiral tourne dans le premier sens de rotation, et transmet indirectement l'énergie transmise au balancier-spiral via l'élément de contrôle lorsque le balancier-spiral tourne dans le deuxième sens de rotation, et l'élément de contrôle régule la rotation du mobile d'échappement de telle manière qu'un premier angle d'action rotationnel parcouru dans le cadre de la transmission directe d'énergie du mobile d'échappement au balancier-spiral diffère d'un deuxième angle d'action rotationnel parcouru dans le cadre de la transmission indirecte d'énergie depuis le mobile d'échappement au balancier-spiral.

[0021] L'échappement selon cet aspect de la présente demande de brevet permet à l'énergie, c'est-à-dire à l'énergie rotative transmise au mobile d'échappement, d'être directement transmise au balancier-spiral, permettant une transmission de l'énergie (couple) au balancier-spiral lorsque le balancier-spiral tourne dans le premier sens de rotation. L'échappement selon l'invention permet en outre à l'énergie transmise au mobile d'échappement d'être transmise indirectement au balancier-spiral via l'élément de contrôle, permettant la transmission du couple au balancier-spiral, lorsque le balancier-spiral tourne dans le deuxième sens de rotation.

[0022] La transmission de couple directe et la transmission de couple indirecte peuvent par conséquent être alternativement effectuées, de manière commutable, pour permettre un réapprovisionnement en couple du balancier-spiral, et la

rotation du mobile d'échappement peut être contrôlée pour prendre une fréquence d'oscillation fixe correspondant à celle du balancier-spiral. Autrement dit, un échappement de type à impact mi-direct/mi-indirect peut être réalisé, grâce auquel l'efficacité de transmission de couple peut être augmentée comparé à un échappement à ancre suisse selon l'art antérieur, qui est un échappement à type indirect.

[0023] En particulier, la rotation du mobile d'échappement est contrôlée par l'élément de contrôle de telle sorte que le premier angle d'action rotationnel du mobile d'échappement qui transmet directement l'énergie transmise au balancier-spiral lorsque le balancier-spiral tourne dans le premier sens de rotation et le deuxième angle d'action rotationnel du mobile d'échappement qui transmet indirectement l'énergie transmise au balancier-spiral lorsque le balancier-spiral tourne dans le deuxième sens de rotation ne sont pas égaux, mais diffèrent l'un de l'autre (c'est-à-dire, sont inégaux l'un par rapport à l'autre). La quantité de couple transmise directement au balancier-spiral et la quantité de couple transmise indirectement au balancier-spiral peuvent par conséquent être ajustées de telle sorte qu'un bilan d'approvisionnement optimal est réalisé entre ces deux modes de transmission. En conséquence, l'efficacité de transmission de couple (efficacité d'échappement) peut être augmentée.

[0024] En outre, puisqu'il n'est pas nécessaire de disposer le mobile d'échappement, le balancier-spiral, et l'élément de contrôle de telle manière que le premier angle d'action rotationnel et le deuxième angle d'action rotationnel soient intentionnellement définis de manière à être égaux l'un par rapport à l'autre, le mobile d'échappement, le balancier-spiral, et l'élément de contrôle peuvent être librement conçus, agencés et disposés avec peu de contraintes. L'échappement peut par conséquent être optimisé en termes de disposition, et l'échappement résultant a seulement une petite quantité d'erreur de fonctionnement et excelle en termes de précision de mesure du temps (c'est-à-dire, présente des écarts de marche faibles).

[0025] (2) L'élément de contrôle peut contrôler la rotation du mobile d'échappement de telle manière que le premier angle d'action rotationnel est plus grand que le deuxième angle d'action rotationnel.

[0026] Dans ce cas, la proportion de transmission directe de couple du mobile d'échappement au balancier-spiral lors d'un mouvement alterné du balancier-spiral peut être plus grande que celle de transmission indirecte de couple, et ainsi l'efficacité de transmission de couple peut être encore facilement augmentée davantage.

[0027] (3) Le balancier-spiral peut être équipé d'une palette de contact configurée pour être amenée en contact avec des dents d'échappement du mobile d'échappement. L'élément de contrôle peut comprendre une ancre qui inclut une première palette et une deuxième palette configurées pour être mises en prise avec des dents d'échappement et libérées de ces dernières, et qui pivote sur la base de la rotation du balancier-spiral. Lorsque le balancier-spiral tourne dans le premier sens de rotation, l'engagement entre n'importe laquelle des dents d'échappement et la première palette est libérée, et après qu'une autre dent d'échappement vient en contact avec la palette de contact, une autre des dents d'échappement peut venir se mettre en prise avec la deuxième palette, et lorsque le balancier-spiral tourne dans le deuxième sens de rotation, l'engagement entre n'importe quelle dent d'échappement et la deuxième palette peut être libérée, et après que la dent d'échappement glisse le long d'une surface de glissement formée sur la deuxième palette et se déplace par rapport à cela, une autre des dents d'échappement peut venir se mettre en prise avec la première palette.

[0028] Dans ce cas, lorsque le balancier-spiral tourne dans le premier sens de rotation, l'ancre pivote en conséquence, et l'engagement entre n'importe quelle dent d'échappement et la première palette est libéré. Le mobile d'échappement arrêté peut donc être libéré. Une autre des dents d'échappement du mobile d'échappement ayant commencé à tourner est par conséquent autorisée à venir en contact (en collision) avec la palette de contact, ce grâce à quoi le couple peut être transmis directement du mobile d'échappement au balancier-spiral via la palette de contact. Puisqu'une autre des dents d'échappement vient en prise avec la deuxième palette après la transmission directe de couple, la rotation du mobile d'échappement peut être arrêtée.

[0029] Ensuite, lorsque le balancier-spiral tourne dans le deuxième sens de rotation, l'ancre pivote en conséquence, et l'engagement entre n'importe laquelle des dents d'échappement et la deuxième palette est libérée. Le mobile d'échappement qui est arrêté peut donc être libéré. La dent d'échappement du mobile d'échappement qui a démarré sa rotation glisse ensuite le long de la surface de glissement de la deuxième palette et se déplace par rapport à celle-ci. Le couple peut par conséquent être transmis du mobile d'échappement vers la deuxième palette, et le couple peut en outre être transmis indirectement au balancier-spiral via l'ancre. Après la transmission indirecte de couple, c'est-à-dire, après que la dent d'échappement se sépare de la deuxième palette, une autre des dents d'échappement vient en prise avec la première palette, ce grâce à quoi la rotation du mobile d'échappement peut être arrêtée.

[0030] Comme décrit ci-dessus, la palette de contact et l'ancre, qui inclut la première palette et la deuxième palette, peuvent être utilisées pour effectuer alternativement la transmission de couple directe et la transmission de couple indirecte via un mouvement alternatif du balancier-spiral, permettant le réapprovisionnement du balancier-spiral en couple depuis le mobile d'échappement. En particulier, puisqu'une simple configuration utilisant seulement l'ancre permet un fonctionnement stable et exact de l'échappement, l'échappement peut être configuré de manière à exceller en efficacité de transmission de couple avec la configuration simplifiée et une performance d'action stable garantie.

[0031] (4) Le mobile d'échappement peut posséder une structure à deux couches incluant une première roue d'échappement possédant des premières dents d'échappement formant les dents d'échappement, et une deuxième roue

d'échappement qui est disposée de façon superposée au-dessus de la première roue d'échappement selon la direction axiale de la première ligne axiale, et possède des deuxièmes dents d'échappement formant les dents d'échappement. Au moins la palette de contact peut être configurée pour être amenée en contact avec les premières dents d'échappement, et au moins la deuxième palette peut être configurée pour être mise en prise avec les deuxièmes dents d'échappement, et libérée de celles-ci.

[0032] Dans ce cas, la première roue d'échappement peut être disposée de telle sorte que les premières dents d'échappement sont chacune en contact avec la palette de contact, et la deuxième roue d'échappement peut être disposée de telle sorte que les deuxièmes dents d'échappement sont chacune en contact avec la deuxième palette. Puisque la deuxième palette peut ainsi être conçue, par exemple, sans être affectée par la position en hauteur de la palette de contact, une augmentation en longueur de la deuxième palette selon la direction de la première ligne axiale peut, par exemple, être évitée, et la flexibilité de conception être ainsi améliorée. La taille et le poids de la deuxième palette peuvent par conséquent, par exemple, être réduits, le moment d'inertie de l'ancre réduit en conséquence. L'efficacité de transmission de couple peut par conséquent être améliorée davantage dans la transmission de couple indirecte au balancier-spiral via l'ancre.

[0033] Par ailleurs, la roue d'échappement à deux couches, permet, par exemple, une réduction de la distance le long de laquelle chacune des dents d'échappement (premières dents d'échappement et deuxièmes dents d'échappement) glisse lors d'un cycle d'oscillation du balancier-spiral, ce grâce à quoi la quantité d'usure due au glissement peut être réduite.

[0034] En outre, la première roue d'échappement et la deuxième roue d'échappement peuvent être conçues séparément l'une de l'autre. Par exemple, il est facile de faire prendre aux premières dents d'échappement et aux deuxièmes dents d'échappement différentes formes adaptées à chacune d'elle, et la première roue d'échappement et la deuxième roue d'échappement peuvent posséder différents diamètres, ou prendre n'importe quel autre type de configuration optimale conduisant à une amélioration additionnelle en termes d'efficacité de transmission de couple.

[0035] (5) Le balancier-spiral peut être équipé d'une première palette de contact configurée de manière à pouvoir être amenée en contact avec les dents d'échappement du mobile d'échappement. L'élément de contrôle peut comprendre une unité d'ancre qui est formée d'une pluralité d'ancres et pivote sur la base de la rotation du balancier-spiral. L'unité d'ancre peut comprendre une deuxième palette de contact configurée pour pouvoir être amenée en contact avec les dents d'échappement, et une première palette et une deuxième palette configurées pour être mises en prise avec des dents d'échappement et libérées de celles-ci. Lorsque le balancier-spiral tourne dans le premier sens de rotation, l'engagement entre l'une des dents d'échappement et la première palette peut être libérée, et après qu'une autre des dents d'échappement vient en contact avec la première palette de contact, une autre des dents d'échappement peut venir se mettre en prise avec la deuxième palette; lorsque le balancier-spiral tourne dans le deuxième sens de rotation, l'engagement entre l'une des dents d'échappement et la deuxième palette peut être libérée, et après qu'une autre des dents d'échappement vient en contact avec la deuxième palette de contact, une autre des dents d'échappement peut venir se mettre en prise avec la première palette.

[0036] Dans ce cas, lorsque le balancier-spiral tourne dans le premier sens de rotation, l'unité d'ancre pivote en conséquence, et l'engagement entre l'une des dents d'échappement et la première palette est libérée. Le mobile d'échappement, arrêté à ce moment-là, peut donc être libéré. Une autre des dents d'échappement du mobile d'échappement ayant commencé à tourner est par conséquent autorisée à venir en contact (en collision) avec la première palette de contact, ce grâce à quoi le couple peut être transmis directement du mobile d'échappement au balancier-spiral via la première palette de contact. Puisqu'une autre des dents d'échappement se met en prise avec la deuxième palette après la transmission directe de couple, la rotation du mobile d'échappement peut être arrêtée.

[0037] Ensuite, lorsque le balancier-spiral tourne dans le deuxième sens de rotation, l'unité d'ancre pivote en conséquence, et l'engagement entre l'une des dents d'échappement et la deuxième palette est libéré. Le mobile d'échappement, arrêté à ce moment-là, peut donc être libéré. Une autre dent d'échappement du mobile d'échappement ayant commencé à tourner est par conséquent autorisée à venir en contact (en collision) avec la deuxième palette de contact, ce grâce à quoi le couple peut être transmis indirectement du mobile d'échappement au balancier-spiral via la deuxième palette de contact et l'unité d'ancre. Après la transmission indirecte de couple, une autre des dents d'échappement vient se mettre en prise avec la première palette, ce qui permet d'arrêter la rotation du mobile d'échappement.

[0038] Comme décrit ci-dessus, la première palette de contact, la deuxième palette de contact, et l'unité d'ancre, qui comprend la première palette et la deuxième palette, peuvent être utilisées pour effectuer alternativement la transmission directe de couple et la transmission indirecte de couple lors d'un mouvement alternatif du balancier-spiral, ce qui permet d'effectuer ainsi une transmission de l'énergie transmise au mobile d'échappement pour réapprovisionner le balancier-spiral en termes de couple. En particulier, puisqu'une simple configuration utilisant seulement l'unité d'ancre permet un fonctionnement stable et exact de l'échappement, l'échappement peut être configuré de manière à exceller en termes d'efficacité de transmission de couple avec une configuration simplifiée et une performance garantie en termes de fonctionnement.

[0039] (6) L'élément de contrôle peut contrôler la rotation du mobile d'échappement de telle manière que le ratio entre le premier angle d'action rotationnel et l'angle d'action rotationnel prédéterminé par lequel le mobile d'échappement tourne lors d'un mouvement alterné du balancier-spiral est plus grand que 50%, mais plus petit que 75%.

[0040] Dans ce cas, puisque le ratio entre le premier angle d'action rotationnel et l'angle d'action rotationnel prédéterminé est plus grand que 50%, la proportion de transmission directe de couple du le mobile d'échappement au balancier-spiral peut être plus grande que la transmission indirecte de couple indirect, et l'efficacité de transmission de couple peut ainsi être augmentée.

[0041] En plus de ce qui précède, ajuster le ratio entre le premier angle d'action rotationnel et l'angle d'action rotationnel prédéterminé de manière à ce qu'il soit plus petit que 75% permet d'éviter une situation dans laquelle l'angle d'action rotationnel via lequel le mobile d'échappement tourne lorsque le balancier-spiral tourne dans le deuxième sens de rotation (deuxième angle d'action rotationnel) est, par exemple, un angle d'action excessivement petit. Un angle d'action qui permet, par exemple, à l'ancre d'agir correctement peut donc être garanti, et l'échappement peut ainsi être assez fiable pour fonctionner de manière stable. L'ancre peut par conséquent fonctionner correctement, avec une excellente efficacité de transmission de couple maintenue sur la durée, et ainsi l'échappement peut être assez fiable pour présenter une performance stable en termes de fonctionnement.

[0042] (7) L'élément de contrôle peut contrôler la rotation du mobile d'échappement de telle manière que le ratio entre le premier angle d'action rotationnel et l'angle d'action rotationnel prédéterminé est plus grand que 50% mais plus petit que 56%.

[0043] Dans ce cas, puisque le ratio entre le premier angle d'action rotationnel et l'angle d'action rotationnel prédéterminé est plus grand que 50% mais plus petit que 56%, une différence angulaire trop grande entre le premier angle d'action rotationnel et le deuxième angle d'action rotationnel peut être en outre évitée grâce au fait que la proportion de transmission directe de couple du mobile d'échappement au balancier-spiral est plus grande que la transmission indirecte de couple. Un changement indésirable d'angle pour le mouvement d'aiguille peut par conséquent être évité, et l'angle de mouvement d'aiguille peut ainsi être à peu près uniforme.

[0044] (8) Le nombre de dents d'échappement du mobile d'échappement peuvent être au moins égal à deux.

[0045] Dans ce cas, le mobile d'échappement peut être configuré pour avoir au moins deux dents d'échappement, ce grâce à quoi l'angle entre les dents d'échappement adjacentes les unes par rapport aux autres dans la direction circonférentielle peut être grande. Le mobile d'échappement ainsi configuré permet une augmentation de chacun des premiers angles d'action rotationnels, selon lesquels le mobile d'échappement tourne dans le cadre de la transmission directe de couple au balancier-spiral, et le deuxième angle d'action rotationnel, selon lequel le mobile d'échappement tourne dans le cadre de la transmission de couple indirecte au balancier-spiral. L'efficacité de transmission de couple peut par conséquent être améliorée davantage.

[0046] Une diminution du nombre de dents d'échappement permet une augmentation de chacun des premier et deuxième angles d'action rotationnels, ce grâce à quoi l'efficacité de transmission de couple peut être augmentée.

[0047] (9) Les dents d'échappement du mobile d'échappement peuvent être au nombre de huit.

[0048] Dans ce cas, puisque le nombre de dents d'échappement est de huit, une situation dans laquelle les premier et deuxième angles d'action rotationnels prennent chacun, par exemple, une valeur excessivement grande peut être évitée. Par conséquent, l'ancre peut être conçue pour, par exemple, être compacte, et l'ancre n'a pas besoin de pivoter selon une grande amplitude. L'échappement peut par conséquent être assez fiable pour agir de manière encore plus stable.

[0049] (10) Un mouvement de pièce d'horlogerie selon l'aspect de la présente demande de brevet comprend l'échappement décrit ci-dessus, un régulateur comprenant le balancier-spiral, et un train d'engrenage qui transmet de l'énergie au mobile d'échappement.

[0050] (11) Une pièce d'horlogerie selon l'aspect de la présente demande de brevet comprend le mouvement de pièce d'horlogerie décrit ci-dessus, et une aiguille d'affichage qui tourne à une vitesse de rotation ajustée par l'échappement et le régulateur.

[0051] Dans ce cas, le mouvement de pièce d'horlogerie et la pièce d'horlogerie, dont chacun inclut l'échappement décrit ci-dessus, qui n'excelle pas seulement en termes d'efficacité de transmission de couple mais possède seulement une petite quantité d'erreur de fonctionnement et excelle en termes de précision de mesure du temps, peut présenter, de manière similaire, une haute performance avec une excellente précision de mesure du temps. En particulier, puisque l'échappement excelle en efficacité de transmission de couple, l'angle d'oscillation du balancier-spiral est, par exemple, facilement maintenu à une grande valeur, ce grâce à quoi le mouvement de pièce d'horlogerie et la pièce d'horlogerie sont peu susceptibles d'être affectés, par exemple, par des dérangements extérieurs.

[0052] Selon l'aspect de l'invention décrit dans la présente demande de brevet, on peut ainsi fournir un échappement, un mouvement de pièce d'horlogerie, et une pièce d'horlogerie qui excellent chacun en efficacité de transmission de couple (efficacité d'échappement).

BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

[0053]

La fig. 1 est une vue externe d'une pièce d'horlogerie illustrant un premier mode de réalisation de l'invention.

La fig. 2 est une vue en plan d'un mouvement représenté sur la fig. 1.

La fig. 3 est une vue en perspective d'un échappement représenté sur la fig. 2 et vu depuis l'avant.

La fig. 4 est une vue en perspective de l'échappement représenté sur la fig. 3 et vu depuis l'arrière.

La fig. 5 est une vue en perspective d'un double plateau représenté sur la fig. 4.

La fig. 6 est une vue en plan de l'échappement représenté sur la fig. 3.

La fig. 7 est une vue en plan d'une roue d'échappement représentée sur la fig. 6.

La fig. 8 décrit le fonctionnement de l'échappement et montre la transition de l'état représenté sur la fig. 6 vers un état dans lequel une palette d'entrée commence à s'écarter d'une dent d'échappement.

La fig. 9 décrit le fonctionnement de l'échappement et montre la transition de l'état représenté sur la fig. 8 vers un état dans lequel une autre dent d'échappement vient en contact avec une palette de contact.

La fig. 10 décrit le fonctionnement de l'échappement et montre la transition de l'état représenté sur la fig. 9 vers un état dans lequel une autre dent d'échappement vient en prise avec une palette de sortie.

La fig. 11 décrit le fonctionnement de l'échappement et montre la transition de l'état représenté sur la fig. 10 vers un état dans lequel la cheville d'impulsion commence une rotation dans le sens inverse.

La fig. 12 décrit le fonctionnement de l'échappement et montre la transition de l'état représenté sur la fig. 11 vers un état dans lequel l'engagement entre la dent d'échappement et la palette de sortie est libérée.

La fig. 13 décrit le fonctionnement de l'échappement et montre la transition de l'état représenté sur la fig. 12 vers un état dans lequel la dent d'échappement glisse le long d'une surface de glissement de la palette de sortie.

La fig. 14 décrit le fonctionnement de l'échappement et montre la transition de l'état représenté sur la fig. 13 vers un état dans lequel une autre dent d'échappement vient en prise avec la palette d'entrée.

La fig. 15 représente la relation entre l'angle d'action rotationnel prédéterminé selon lequel un mobile d'échappement tourne lors d'un mouvement alternatif d'un balancier-spiral, et un premier angle d'action rotationnel du mobile d'échappement qui transmet directement un couple au balancier-spiral.

La fig. 16 représente la relation entre l'angle d'action rotationnel prédéterminé, selon lequel le mobile d'échappement tourne lors d'un mouvement alternatif du balancier-spiral, et un deuxième angle d'action rotationnel du mobile d'échappement qui transmet indirectement le couple au balancier-spiral.

La fig. 17 est une vue en perspective d'un échappement représentant un deuxième mode de réalisation selon l'invention et vu depuis l'avant.

La fig. 18 est une vue en perspective de l'échappement représenté sur la fig. 17 et vu depuis l'arrière.

La fig. 19 est une vue en plan d'une première roue d'échappement représentée sur la fig. 17.

La fig. 20 est une vue en plan de l'échappement représenté sur la fig. 17.

La fig. 21 est une vue en plan d'une deuxième roue d'échappement représentée sur la fig. 17.

La fig. 22 décrit le fonctionnement de l'échappement et montre la transition de l'état représenté sur la fig. 20 vers un état dans lequel une première dent d'échappement vient en contact avec la palette de contact.

La fig. 23 décrit le fonctionnement de l'échappement et montre la transition de l'état représenté sur la fig. 22 vers un état dans lequel une deuxième dent d'échappement vient en contact avec la palette de sortie.

La fig. 24 décrit le fonctionnement de l'échappement et montre la transition de l'état représenté sur la fig. 23 vers un état dans lequel la cheville d'impulsion commence à effectuer une rotation dans le sens inverse.

La fig. 25 décrit le fonctionnement de l'échappement et montre la transition de l'état représenté sur la fig. 24 vers un état dans lequel la deuxième dent d'échappement glisse le long de la surface de glissement de la palette de sortie.

La fig. 26 décrit le fonctionnement de l'échappement et montre la transition de l'état représenté sur la fig. 25 vers un état dans lequel une autre première dent d'échappement vient en prise avec la palette d'entrée.

La fig. 27 représente la relation entre l'angle d'action rotationnel prédéterminé, selon lequel le mobile d'échappement tourne lors d'un mouvement alternatif du balancier-spiral, et le premier angle d'action rotationnel du mobile d'échappement qui transmet directement le couple au balancier-spiral.

La fig. 28 représente la relation entre l'angle d'action rotationnel prédéterminé, selon lequel le mobile d'échappement tourne lors d'un mouvement alternatif du balancier-spiral, et le deuxième angle d'action rotationnel du mobile d'échappement qui transmet indirectement le couple au balancier-spiral.

La fig. 29 est une vue en perspective d'un échappement représentant un troisième mode de réalisation selon l'invention, vu depuis l'avant.

La fig. 30 est une vue en perspective de l'échappement représenté sur la fig. 29 et vu depuis l'arrière.

La fig. 31 est une vue en plan de l'échappement représenté sur la fig. 29.

La fig. 32 décrit le fonctionnement de l'échappement et montre la transition de l'état représenté sur la fig. 31 vers un état dans lequel une première palette d'arrêt commence à s'écarter d'une dent d'échappement.

La fig. 33 décrit le fonctionnement de l'échappement et montre la transition de l'état représenté sur la fig. 32 vers un état dans lequel une autre dent d'échappement entre en contact avec une première palette de contact.

La fig. 34 décrit le fonctionnement de l'échappement et montre la transition de l'état représenté sur la fig. 33 vers un état dans lequel une autre dent d'échappement vient en contact avec une deuxième palette d'arrêt.

La fig. 35 décrit le fonctionnement de l'échappement et montre la transition de l'état représenté sur la fig. 34 vers un état dans lequel la cheville d'impulsion commence à effectuer une rotation dans le sens inverse.

La fig. 36 décrit le fonctionnement de l'échappement et montre la transition de l'état représenté sur la fig. 35 vers un état dans lequel l'engagement entre la dent d'échappement et la deuxième palette d'arrêt est libérée.

La fig. 37 décrit le fonctionnement de l'échappement et montre la transition de l'état représenté sur la fig. 36 vers un état dans lequel une autre dent d'échappement vient en contact avec une deuxième palette de contact.

La fig. 38 décrit le fonctionnement de l'échappement et montre la transition de l'état représenté sur la fig. 37 vers un état dans lequel une autre dent d'échappement vient en contact avec la première palette d'arrêt.

La fig. 39 représente la relation entre l'angle d'action rotationnel prédéterminé, selon lequel le mobile d'échappement tourne lors d'un mouvement alternatif du balancier-spiral, et le premier angle d'action rotationnel du mobile d'échappement qui transmet directement le couple au balancier-spiral.

La fig. 40 représente la relation entre l'angle d'action rotationnel prédéterminé, par lequel le mobile d'échappement tourne lors d'un mouvement alternatif du balancier-spiral, et le deuxième angle d'action rotationnel du mobile d'échappement qui transmet indirectement le couple au balancier-spiral.

La fig. 41 représente la relation entre le nombre de dents d'échappement et la quantité de couple transmis.

La fig. 42 représente la relation entre le ratio d'un premier angle d'action rotationnel à un angle d'action rotationnel prédéterminé et la quantité de couple transmis.

DESCRIPTION DES MODES DE RÉALISATION

(Premier mode de réalisation)

[0054] Un premier mode de réalisation selon l'invention sera décrit ci-dessous en se référant aux dessins. Le présent mode de réalisation sera décrit en se référant à un cas où une pièce d'horlogerie mécanique est présentée comme exemple de pièce d'horlogerie.

(Configuration de base de la pièce d'horlogerie)

[0055] En général, on se réfère à la partie mécanique incluant une partie d'entraînement d'une pièce d'horlogerie comme étant le «mouvement.» Le mouvement auquel un cadran et des aiguilles sont fixés est placé dans un boîtier de pièce d'horlogerie pour former un produit complet, auquel on se réfère comme étant une «unité complète» de la pièce d'horlogerie. Une platine qui forme un substrat de la pièce d'horlogerie possède deux côtés, et on se réfère au côté du verre du boîtier de la pièce d'horlogerie (c'est-à-dire, le côté du cadran) comme étant le «côté arrière» du mouvement. Parmi ces deux côtés de la platine, on se réfère au côté fond du boîtier de la pièce d'horlogerie (c'est-à-dire, le côté opposé au cadran) comme étant le «côté avant» du mouvement.

[0056] Pour décrire le présent mode de réalisation on utilisera les définitions suivantes: la direction s'étendant depuis le cadran vers le fond de boîtier constitue une direction ascendante; et la direction opposée constitue une direction descendante.

[0057] Une unité complète d'une pièce d'horlogerie 1 selon le présent mode de réalisation comprend les composants suivants dans un boîtier de pièce d'horlogerie formé d'un fond de boîtier – qui n'est pas représenté – et une plaque de verre 2: un mouvement (mouvement de pièce d'horlogerie selon l'invention) 10; un cadran 3 ayant des marques indiquant au moins des informations relatives à l'heure; et des aiguille d'affichage 4 incluant une aiguille des heures 5, une aiguille des minutes 6, et une aiguille des secondes 7, comme illustré sur la fig. 1.

[0058] Le mouvement 10 comprend une platine 11, qui forme un substrat, comme illustré sur la fig. 2. La fig. 2 est une vue en plan du mouvement 10 vu depuis l'avant. Par ailleurs, sur la fig. 2, une partie des composants qui forment le mouvement 10 est volontairement omise pour faciliter l'illustration.

[0059] Les composants suivants sont fournis à l'avant de la platine 11: un rouage avant (train d'engrenage selon l'invention) 12; un échappement 13, qui contrôle la rotation du rouage avant 12; et un régulateur 14, qui ajuste la vitesse de l'échappement 13.

[0060] Le rouage avant 12 comprend essentiellement un barillet de mouvement 20, un mobile de centre 21, un troisième mobile 22, et un deuxième mobile 23. Le barillet de mouvement 20 est supporté par un arbre dans l'espace entre la platine 11 et un pont de barillet qui n'est pas représenté et contient un ressort moteur (source d'énergie) qui n'est pas représenté. Le ressort moteur est remonté lorsqu'une roue à rochet 24 tourne. La roue à rochet 24 tourne via un rouage de remontage – qui n'est pas représenté – lorsqu'une tige de remontoir – qui n'est également pas représentée et reliée à une couronne 25 représentée sur la fig. 1 – est actionnée en rotation.

[0061] Le mobile de centre 21, le troisième mobile 22, et le deuxième mobile 23 sont chacun supportés par un arbre dans l'espace entre la platine 11 et un pont de rouage qui n'est pas représenté. Lorsqu'une force de rappel élastique produite par le ressort moteur enroulé sur lui-même lorsqu'il est remonté agit sur le barillet de mouvement 20, et que par conséquent le barillet de mouvement 20 tourne, le mobile de centre 21, le troisième mobile 22, et le deuxième mobile 23 tournent de manière séquentielle sur la base de la rotation du barillet de mouvement 20.

[0062] Autrement dit, le mobile de centre 21 est en prise avec le barillet de mouvement 20 et tourne sur la base de la rotation du barillet de mouvement 20. Lorsque le mobile de centre 21 tourne, une chaussée – qui n'est pas représentée – tourne sur la base de la rotation du mobile de centre 21. L'aiguille des minutes 6 représentée sur la fig. 1 est fixée à la chaussée, et la rotation de la chaussée permet à l'aiguille des minutes 6 d'afficher les minutes courantes. L'aiguille des minutes 6 tourne à une vitesse de rotation ajustée par l'échappement 13 et le régulateur 14, c'est-à-dire, effectue une rotation complète en une heure.

[0063] Lorsque le mobile de centre 21 tourne, une roue des minutes – qui n'est pas représentée – tourne sur la base de la rotation du mobile de centre 21, et une roue des heures – qui n'est pas représentée – tourne ensuite sur la base de la rotation de la roue des minutes. La roue des minutes et la roue des heures sont des composants de la pièce d'horlogerie qui forment le rouage avant 12. L'aiguille des heures 5 représentée sur la fig. 1 est fixée à la roue des heures, et la rotation de la roue des heures permet à l'aiguille des heures 5 d'afficher l'heure courante. L'aiguille des heures 5 tourne à une vitesse de rotation ajustée par l'échappement 13 et le régulateur 14, et effectue, par exemple, une rotation complète en 12 heures.

[0064] Le troisième mobile 22 est en prise avec le mobile de centre 21 et tourne sur la base de la rotation du mobile de centre 21. Le deuxième mobile 23 est en prise avec le troisième mobile 22 et tourne sur la base de la rotation du troisième mobile 22. L'aiguille des secondes 7 représentée sur la fig. 1 est fixée au deuxième mobile 23, et l'aiguille des secondes 7 est censée afficher les secondes courantes sur la base de la rotation du deuxième mobile 23. L'aiguille des secondes 7 tourne à une vitesse de rotation ajustée par l'échappement 13 et le régulateur 14 et effectue, par exemple, une rotation en une minute.

[0065] Un mobile d'échappement 60, qui sera décrit plus tard, est en prise avec le deuxième mobile 23 via un pignon d'échappement 61. L'énergie (énergie de rotation) du ressort moteur logé dans le barillet du mouvement 20 est par conséquent transmise au mobile d'échappement 60 principalement via le mobile de centre 21, le troisième mobile 22, et le deuxième mobile 23. Le mobile d'échappement 60 tourne par conséquent autour d'une première ligne axiale O1.

[0066] Le régulateur 14 inclut principalement un balancier-spiral 30.

[0067] Le balancier-spiral 30 comprend un arbre de balancier 31, une roue de balancier 32, et un ressort spiral qui n'est pas représenté, et le balancier-spiral 3 est supporté par un arbre dans l'espace entre la platine 11 et un pont de balancier qui n'est pas représenté, comme illustré sur les fig. 3 et 4. Le balancier-spiral 30, qui fonctionne sous l'action d'une source d'énergie qui est constituée par le spiral, effectue une rotation alternée (rotation vers l'avant et dans le sens inverse) autour d'une deuxième ligne axiale O2 selon une amplitude régulière (angle d'oscillation) selon le couple délivré en sortie du barillet du mouvement 20.

[0068] De manière spécifique, le balancier-spiral 30 effectue une rotation alternée selon un premier sens de rotation M1 et un deuxième sens de rotation M2, qui sont opposés, autour de la deuxième ligne axiale O2, comme représenté sur la fig. 3. Dans le présent mode de réalisation, selon une vue en plan vue depuis le côté faisant face au côté avant du mouvement 10, le sens selon lequel le balancier-spiral 30 tourne dans le sens contraire des aiguilles d'une montre autour de la deuxième ligne axiale O2 est appelé le premier sens de rotation M1, et le sens selon lequel le balancier-spiral 30 tourne dans le sens des aiguilles d'une montre est appelé le deuxième sens de rotation M2.

[0069] Un pivot supérieur 31 a et un pivot inférieur 31b, qui sont chacun coniques, sont formés aux extrémités axialement opposées de l'arbre de balancier 31, comme représenté sur les fig. 3 et 4. L'arbre de balancier 31 est supporté par l'arbre dans l'espace entre la platine 11 et le pont de balancier via le pivot supérieur 31 a et le pivot inférieur 31 b. La roue de balancier 32 est ajustée extérieurement et fixée intégralement à l'arbre de balancier 31, et l'extrémité interne du spiral est fixée à l'arbre de balancier 31 via une virole qui n'est pas représentée.

[0070] Dans l'exemple représenté sur les fig. 3 et 4, la roue de balancier 32 est formée de quatre bras 33 s'étendant radialement vers l'extérieur depuis la deuxième ligne axiale O2, et qui sont agencés à des intervalles de 90 degrés; néanmoins le nombre, l'agencement, et la forme des bras 33 ne sont pas limités à la configuration décrite ci-dessus, et peuvent être changés librement.

[0071] Un double plateau annulaire 35, qui n'est pas seulement un composant du balancier-spiral 30 mais également un composant de l'échappement 13, est ajusté extérieurement et fixé à l'arbre de balancier 31, et disposé de manière coaxiale avec la deuxième ligne axiale O2.

[0072] Le double plateau 35 est composé, par exemple, d'un matériau métallique ou d'un matériau ayant une orientation cristalline, tel que du monocristal de silicium. Des exemples de procédés de fabrication du double plateau 35 peuvent inclure l'électroformage, un procédé LIGA, qui adopte une approche optique, telle qu'une technologie de photolithographie, DRIE, et moulage par injection de poudre métallique (MIM). Le procédé de fabrication n'est pas limité à l'un des procédés décrits ci-dessus, et le double plateau 35 peut être formé en utilisant n'importe quel autre procédé.

[0073] Le double plateau 35 inclut un grand collet 36, qui est disposé à la hauteur correspondant au mobile d'échappement 60, et un petit collet 37, qui est intégré avec le grand collet 36 et disposé en-dessous du grand collet 36 (du côté faisant face à la platine 11), comme illustré sur les fig. 3 à 6.

[0074] Le grand collet 36 possède un trou traversant 38, qui passe à travers le grand collet 36 dans la direction ascendante/descendante, et une fente 39, qui possède une forme de U de manière à s'étendre dans la direction radiale et s'ouvrir vers l'extérieur dans la direction radiale.

[0075] Le trou traversant 38 possède une surface plate vers l'extérieur dans la direction radiale, et possède une forme semi-circulaire ayant une surface intérieure sous forme d'arc convexe dans la direction radiale, lorsqu'il est vu le long de la direction axiale de la deuxième ligne axiale O2. Une cheville d'impulsion 40, qui est formée sur une pierre précieuse artificielle constituée, par exemple, de rubis, est chassée dans le trou traversant 38 pour y être fixée. Une palette de contact 50, qui sera décrite plus loin, est fixée dans la fente 39.

[0076] La cheville d'impulsion 40, en correspondance avec la forme du trou traversant 38, possède une surface plate vers l'extérieur dans la direction radiale et possède une forme semi-circulaire ayant une surface arquée 42 convexe à l'intérieur dans la direction radiale selon la vue dans le plan. La cheville d'impulsion 40 est formée de manière à s'étendre vers l'extérieur au-delà du grand collet 36. La cheville d'impulsion 40 ainsi configurée est agencée pour être amenée en contact avec une ancre 71, qui sera décrite plus loin et est disposée en-dessous du mobile d'échappement 60.

[0077] La cheville d'impulsion 40 effectue une rotation alternée autour de la deuxième ligne axiale O2, en association avec le balancier-spiral 30 et se met en prise avec une fourchette 81, qui sera décrite plus loin, de manière à pouvoir être libérée ensuite dans la course de la rotation alternée.

[0078] Le petit collet 37 est formé de manière à être radialement plus petit que le grand collet 36. Une partie en forme de croissant de lune 43, qui est évidée vers l'intérieur dans la direction radiale pour former une surface incurvée, est agencée dans une partie du petit collet 37 qui est la portion faisant face radialement et correspondant à la cheville d'impulsion 40. La partie en forme de croissant de lune 43 fonctionne comme un dégagement qui empêche un dard 82, qui sera décrit plus loin, d'entrer en contact avec le petit collet 37 lorsque la fourchette 81, qui sera décrite plus loin, se met en prise avec la cheville d'impulsion 40. Une portion de la surface circonférentielle externe du petit collet 37, qui est la portion excluant la partie en forme de croissant de lune 43, est configurée de telle sorte que le dard 82 peut être amené en contact et ajustable le long de la portion.

(Configuration de l'échappement)

[0079] L'échappement 13 inclut le double plateau 35 décrit ci-dessus, la palette de contact 50 prévue sur le balancier-spiral 30, le mobile d'échappement 60, qui tourne en utilisant l'énergie transmise depuis le ressort moteur via le rouage avant 12, et un élément de contrôle 70, qui tourne et arrête le mobile d'échappement 60 sur la base de la rotation du balancier-spiral 30, comme représenté sur les fig. 3 et 4.

[0080] Dans la description qui suit, on se réfère simplement à l'énergie transmise au mobile d'échappement 60 comme correspondant au couple dans certains cas.

(Palette de contact)

[0081] La palette de contact 50 est une palette configurée pour être amenée en contact avec des dents d'échappement 63 du mobile d'échappement 60 et pour transmettre le couple transmis au mobile d'échappement 60 au balancier-spiral 30. Les dents d'échappement 63 seront décrites plus loin. La palette de contact 50 est fixée au grand collet 36 du double plateau 35.

[0082] Spécifiquement, la palette de contact 50 est insérée par l'extérieur dans la direction radiale dans la fente 39 formée dans le grand collet 36 et y est fixée, par exemple, avec un adhésif. La palette de contact 50 est formée d'une pierre précieuse artificielle constituée, par exemple, de rubis, comme l'est la cheville d'impulsion 40. La palette de contact 50 possède une forme de plaque rectangulaire s'étendant dans la direction radiale du grand collet 36 et a une extrémité avant qui fait saillie vers l'extérieur dans la direction radiale au-delà du bord circonférentiel externe du grand collet 36.

[0083] La surface latérale de l'extrémité avant de la palette de contact 50, qui est la surface latérale située le plus en aval selon le deuxième sens de rotation M2, est une surface plate s'étendant dans la direction radiale et forme une surface de contact 51, avec laquelle une surface de travail 63a de chacune des dents d'échappement 63 est amenée en contact, comme représenté sur la fig. 6. L'extrémité avant de la palette de contact 50 a en outre une surface inclinée 52 faisant face au côté positif dans le premier sens de rotation M1.

[0084] La palette de contact 50 est fixée dans la fente 39 de manière à ne pas faire saillie vers l'extérieur au-delà du grand collet 36. La palette de contact 50 ainsi fixée ne vient pas en contact avec l'ancre 71, qui sera décrite plus loin.

[0085] La palette de contact 50 fixée au balancier-spiral 30 comme décrit ci-dessus répète une incursion dans la trajectoire rotationnelle R de la roue d'échappement 64, qui sera décrite plus loin, et une rétractation hors de celle-ci d'une lorsque le balancier-spiral 30 tourne. La surface de travail 63a de chacune des dents d'échappement 63 de la roue d'échappement 64 est par conséquent autorisée à venir en contact (en collision) avec la surface de contact 51 de la palette de contact 50. Le contact de la surface de travail 63a de l'une des dents d'échappement 63 avec la surface de contact 51 de la palette de contact 50 permet une transmission de l'énergie depuis le mobile d'échappement 60 vers la palette de contact 50.

(Mobile d'échappement)

[0086] Le mobile d'échappement 60 comprend un arbre d'échappement 62, autour duquel le pignon d'échappement 61, qui vient en prise avec le deuxième mobile 23, est formé, et la roue d'échappement 64, qui est intégralement fixée à l'arbre d'échappement 62, par exemple, sous l'action d'un chassage et possède une pluralité de dents d'échappement 63, comme représenté sur les fig. 3, 4, et 6.

[0087] Le présent mode de réalisation est décrit en se référant à un cas où le nombre de dents d'échappement 63 est de 8, et le nombre de dents du pignon d'échappement 61 est de 10, mais ces nombres de dents d'échappement 63 et de dents du pignon d'échappement 61 ne doivent pas être considérés comme indispensables, et peuvent être changés s'il y a lieu en fonction des besoins.

[0088] Le présent mode de réalisation sera en outre décrit en se référant à un cas où le mobile d'échappement 60 tourne dans le sens des aiguilles d'une montre autour de la première ligne axiale O1 selon une vue en plan du mouvement 10 prise depuis l'avant, comme représenté sur la fig. 6 lorsque le couple transmis depuis le deuxième mobile 23 via le pignon d'échappement 61 agit sur le mobile d'échappement 60.

[0089] Pour le mobile d'échappement, la direction de rotation dans le sens des aiguilles d'une montre autour de la première ligne axiale O1 est appelée le sens des aiguilles d'une montre M3, et la direction opposée au sens des aiguilles d'une monte M3 est appelée le sens contraire des aiguilles d'une montre M4. En outre, l'enveloppe de rotation R, qui est dessinée par la pointe de chaque dent d'échappement 63 lorsque le mobile d'échappement 60 tourne, est simplement appelée la trajectoire rotationnelle R de la roue d'échappement 64.

[0090] Un pivot supérieur 62a et un pivot inférieur 62b, qui sont chacun coniques, sont formés aux extrémités axialement opposées de l'arbre d'échappement 62, comme représenté sur les fig. 3 et 4. Le mobile d'échappement 60 est supporté par l'arbre dans l'espace entre la platine 11 et le pont de rouage – qui n'est pas représenté – via le pivot supérieur 62a et le pivot inférieur 62b.

[0091] La roue d'échappement 64 est constituée, par exemple, d'un matériau métallique ou d'un matériau ayant une orientation cristalline, telle que du monocristal de silicium, comme le double plateau 35, comme représenté sur les fig. 6 et 7. Des exemples de procédés de fabrication de la roue d'échappement 64 peuvent comprendre l'électroformage, un

procédé LIGA, qui adopte une approche optique, telle qu'une technologie de photolithographie, DRIE, et un moulage par injection de poudre métallique (MIM). Le procédé de fabrication n'est pas limité à l'un des procédés décrits ci-dessus, et la roue d'échappement 64 peut être formée en utilisant n'importe quel autre procédé de fabrication.

[0092] La roue d'échappement 64 inclut un moyeu annulaire 65, qui possède un trou d'insertion 65a formé dans une portion centrale du moyeu 65 et est combiné avec l'arbre d'échappement 62 via le trou d'insertion 65a, par exemple, via un chassage, ainsi que quatre premiers rayons 66, qui s'étendent vers l'extérieur depuis le moyeu 65 dans la direction radiale et sont agencés à des intervalles réguliers dans la direction circonférentielle, et quatre deuxièmes rayons 67, qui s'étendent vers l'extérieur depuis le moyeu 65 dans la direction radiale et sont agencés à des intervalles réguliers dans la direction circonférentielle. Le moyeu 65, les premiers rayons 66, et les deuxièmes rayons 67 sont intégrés les uns aux autres dans la roue d'échappement 64.

[0093] Les premiers rayons 66 et les deuxièmes rayons 67 sont formés pour être disposés alternativement dans la direction circonférentielle et posséder la même longueur radiale. Les premiers rayons 66 et les deuxièmes rayons 67 possèdent une forme conique effilée vers l'extérieur dans la direction radiale, et une extrémité avant de chacun des premiers rayons 66 et des deuxièmes rayons 67 possède une forme légèrement courbée dans le sens des aiguilles d'une montre M3. Les extrémités avant courbées agissent en tant que dents d'échappement 63.

[0094] Le mobile d'échappement 60 selon le présent mode de réalisation possède par conséquent huit dents d'échappement 63. Une surface latérale de chacune des dents d'échappement 63, c'est-à-dire la surface latérale orientée positivement dans le sens des aiguilles d'une montre M3, forme la surface de travail 63a, qui est amenée en contact avec la palette de contact 50 et vient en prise avec une palette d'entrée (première palette selon l'invention) 72 et une palette de sortie (deuxième palette selon l'invention) 73, qui seront décrites plus loin.

[0095] La base (racine) de chacun des premiers rayons 66 possède une forme circonférentielle plus large que la base de chacun des deuxièmes rayons 67. La base de chacun des premiers rayons est ajourée 66 par un premier trou d'ajourement 68 ayant une forme elliptique allongée dans la direction radiale dans la vue en plan. L'extrémité de base de chacun des deuxièmes rayons 67 est ajourée par un deuxième trou d'ajourement 69 ayant une forme triangulaire selon la vue en plan.

[0096] Le poids du mobile d'échappement 60 est réduit principalement par les premiers trous d'ajourement 68 et les deuxièmes trous d'ajourement 69, mais ceci n'est pas indispensable; d'autres trous d'ajourement pourraient être prévus par ailleurs, ainsi que des portions plus fines et n'importe quels autres types de portions, dans la mesure où les ajourements additionnels ou les portions plus fines n'affectent pas la performance, la rigidité, ou d'autres facteurs du mobile d'échappement 60.

[0097] Le mobile d'échappement 60 configuré tel que décrit ci-dessus est responsable de la transmission directe du couple qui lui a été transmis au balancier-spiral 30 lorsque le balancier-spiral 30 tourne dans le premier sens de rotation M1 et une transmission indirecte du couple transmis au balancier-spiral 30 via l'élément de contrôle 70 lorsque le balancier-spiral 30 tourne dans le deuxième sens de rotation M2.

(Élément de contrôle)

[0098] L'élément de contrôle 70 comprend l'ancre 71, qui pivote autour d'une troisième ligne axiale O3 sur la base de la rotation du balancier-spiral 30, comme représenté sur les fig. 3, 4 et 6, et qui contrôle la rotation du mobile d'échappement 60, c'est-à-dire, contrôle le démarrage et l'arrêt de la rotation du mobile d'échappement 60.

[0099] L'ancre 71 comprend la palette d'entrée 72 et la palette de sortie 73 configurée pour être mises alternativement en prise avec les dents d'échappement 63. L'ancre 71 comprend en outre un arbre 75, qui constitue un axe de rotation pour le mouvement de pivotement, et le corps de l'ancre 78, qui inclut deux bras d'ancre 76 et 77.

[0100] L'arbre 75 est disposé de manière coaxiale par rapport à la troisième ligne axiale O3. Un pivot supérieur 75a et un pivot inférieur 75b, qui sont chacun coniques, sont formés aux extrémités axialement opposées de l'arbre 75. L'arbre 75 est supporté dans l'espace entre la platine 11 et un pont d'ancre qui n'est pas représenté via le pivot supérieur 75a et le pivot inférieur 75b.

[0101] Une collerette 75c, qui est plus grande que l'arbre 75 en termes de diamètre, est formée intégralement avec une portion centrale dans le sens axial de l'arbre 75. Le corps d'ancre 78 est intégralement fixé à l'arbre 75, par exemple, via un chassage, avec le corps d'ancre 78 placé sur la collerette 75c.

[0102] Le corps d'ancre 78 possède une forme de plaque, par exemple, en utilisant l'électroformage ou une technologie MEMS et est disposé en dessous du mobile d'échappement 60 et du grand collet 36 du double plateau 35. Le corps d'ancre 78 peut être muni selon le cas, d'un ajourement, une portion plus fine, ou n'importe quelle autre portion permettant une réduction de poids, comme dans le cas du mobile d'échappement 60. Dans l'exemple représenté sur les fig. 3, 4 et 6, une pluralité d'ajourements sont formés dans le corps d'ancre 78.

[0103] Un segment de liaison 79 du corps d'ancre 78, qui est la portion où les deux bras d'ancre 67 et 77 sont reliés l'une à l'autre, possède un trou d'insertion pour fixer l'arbre 75. L'insertion de l'arbre 75 dans le trou d'insertion, par exemple, via un chassage, permet au corps d'ancre 78 d'être intégralement fixé à l'arbre 75 avec le corps d'ancre 78 placé sur la collerette 75c.

[0104] Un des bras d'ancre ou le bras d'ancre 76 est agencé de manière à s'étendre depuis le segment de liaison 79, auquel l'arbre 75 est fixé, dans le sens contraire des aiguilles d'une montre M4, qui est opposé au sens dans lequel le mobile d'échappement 60 tourne, c'est-à-dire, vers le balancier-spiral 30. L'autre bras d'ancre ou le bras d'ancre 77 est agencé pour s'étendre depuis le segment de liaison 79, auquel l'arbre 75 est fixé, dans le sens des aiguilles d'une montre M3, qui est le sens dans lequel le mobile d'échappement 60 tourne.

[0105] L'extrémité avant du bras d'ancre 76 est munie d'une paire de cornes 80 disposées côte à côte dans la direction circonférentielle autour de la troisième ligne axiale O3. L'intérieur des cornes 80 s'ouvre vers l'arbre de balancier 31 et forme la fourchette 81, qui peut recevoir la cheville d'impulsion 40, laquelle se déplace quand le balancier-spiral 30 effectue sa rotation alternée, en s'engageant à l'intérieur de celle-ci pour s'en dégager ensuite.

[0106] Par ailleurs, le dard 82 est fixé à l'extrémité avant du bras d'ancre 76.

[0107] Le dard 82 est ainsi inséré par dessous dans l'extrémité avant du bras d'ancre 76, par exemple, via un chassage pour être intégralement fixé au bras d'ancre 76, mais ceci n'est pas impératif. Par exemple, le dard 82 peut être plutôt fixé à l'extrémité avant du bras d'ancre 76, par exemple, en utilisant un adhésif ou un calfeutrage.

[0108] Le dard 82 est situé entre la paire de cornes 80 (c'est-à-dire, dans la fourchette 81) dans la vue en plan et s'étend ainsi pour faire saillie légèrement au-delà des cornes 80 vers l'arbre de balancier 31. Le dard 82 est situé en-dessous de la cheville d'impulsion 40 et fixé pour être au même niveau en hauteur que le petit collet 37.

[0109] Dans l'état où la cheville d'impulsion 40 s'est déplacée hors de la fourchette 81, l'extrémité avant du dard 82 fait face, dans la direction radiale, et via un léger espacement, à une portion de la surface circonférentielle externe du petit collet 37 qui est la portion excluant la partie en forme de croissant de lune 43, alors que dans l'état dans lequel la cheville d'impulsion 40 vient en prise avec la fourchette 81, l'extrémité avant du dard 82 est logée dans la partie en forme de croissant de lune 43.

[0110] Lorsque la cheville d'impulsion 40 s'est déplacée hors de la fourchette 81, l'extrémité avant du dard 82 fait face à la surface circonférentielle externe du petit collet 37, avec un léger espacement entre elles, et l'extrémité avant du dard 82 est ainsi autorisée à venir en premier lieu en contact avec la surface circonférentielle externe du petit collet 37 même, par exemple, dans le cas où une perturbation survient pendant l'oscillation libre du balancier-spiral 30 et où l'ancre 71 arrêtée à ce moment-là serait libérée en raison de la perturbation. Il est par conséquent possible d'empêcher tout déplacement de l'ancre 71 en raison d'une perturbation, et ainsi une libération intempestive de l'ancre arrêtée 71 peut être évitée. L'ancre 71 sera décrite plus tard en détail dans son état arrêté.

[0111] En outre, un orifice de fixation de la pierre 83 pour fixer la palette d'entrée 72 est formé dans le bras d'ancre 76, spécifiquement, dans une position décalée par rapport au dard 82 en direction de l'arbre 75. L'orifice de fixation de la pierre 83 est ainsi formé de manière à passer à travers le bras d'ancre 76 dans la direction avant/arrière par rapport à la platine. La palette d'entrée 72 est une palette qui est configurée pour être mise en prise avec la surface de travail 63a de chacune des dents d'échappement 63 de la roue d'échappement 64, et libérée de celles-ci, pour arrêter le mobile d'échappement 60, et libérer le mobile d'échappement 60 lorsqu'il est arrêté.

[0112] La palette d'entrée 72 est formée d'une pierre précieuse artificielle constituée, par exemple, de rubis, comme la cheville d'impulsion 40 est, et fixée dans l'orifice de fixation de la pierre 83, par exemple, via un chassage, ou collée et fixée à l'intérieur, par exemple, à l'aide d'un adhésif. La palette d'entrée 72 possède une forme en colonne rectangulaire s'étendant vers le haut au-delà du bras d'ancre 76, et est fixée pour être alignée en hauteur avec le mobile d'échappement 60.

[0113] Une surface latérale de la palette d'entrée 72 qui est la surface latérale faisant face aux extrémités des rayons du mobile d'échappement 60 dans le sens contraire des aiguilles d'une montre M4, qui est opposé au sens dans lequel le mobile d'échappement 60 tourne, forme la surface d'engagement 72a, avec laquelle la surface de travail 63a de chacune des dents d'échappement 63 de la roue d'échappement 64 vient en prise.

[0114] Une fente 85 pour fixer la palette de sortie 73 est formée au niveau d'une extrémité avant de l'autre bras d'ancre 77. La fente 85 est formée de manière à passer à travers le bras d'ancre 77 de haut en bas et s'ouvre en direction du mobile d'échappement 60. La palette de sortie 73 n'est pas seulement une palette qui est configurée pour venir s'engager avec la surface de travail 63a de chacune des dents d'échappement 63 de la roue d'échappement 64 et s'en libérer, et qui arrête le mobile d'échappement 60, puis libère le mobile d'échappement 60 lorsqu'il est arrêté, mais constitue une palette qui transmet l'énergie fournie au mobile d'échappement 60 au balancier-spiral 30 via l'ancre 71.

[0115] La palette de sortie 73 est formée d'une pierre précieuse artificielle constituée, par exemple, de rubis, comme la cheville d'impulsion 40, et est fixée dans la fente 85, par exemple, via un chassage, ou collée et fixée à l'intérieur, par exemple, à l'aide d'un adhésif. La palette de sortie 73 possède une forme de plaque rectangulaire s'étendant le long de la fente 85, et est fixée de manière à faire saillie au-delà du bras d'ancre 77 en direction du mobile d'échappement 60. Par ailleurs, la palette de sortie 73 est formée de manière à s'étendre vers le haut au-delà du bras d'ancre 77, et fixée de manière à être alignée en hauteur avec le mobile d'échappement 60.

[0116] L'extrémité avant de la palette de sortie 73 possède une surface d'engagement 73a et une surface de glissement 73b formées de manière à faire face aux rayons du mobile d'échappement 60 dans le sens contraire des aiguilles d'une montre M4, qui est opposé au sens dans lequel le mobile d'échappement 60 tourne.

[0117] La surface d'engagement 73a est une surface plate s'étendant le long de la fente 85, et la surface de travail 63a de chacune des dents d'échappement 63 de la roue d'échappement 64 est configurée pour venir en prise avec la surface d'engagement 73a.

[0118] La surface de glissement 73b est une surface inclinée décalée par rapport à la surface d'engagement 73a en direction du mobile d'échappement 60, et agencée de manière à s'étendre dans le sens des aiguilles d'une montre M3, qui est la direction dans laquelle le mobile d'échappement 60 tourne, c'est-à-dire, agencée de manière à se rapprocher du mobile d'échappement 60 au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la fente et en suivant le sens des aiguilles d'une montre M3, et les dents d'échappement 63 sont configurées pour glisser le long de la surface de glissement 73b.

[0119] De manière spécifique, les dents d'échappement 63 du mobile d'échappement 60 sont chacune configurées pour glisser le long de la surface de glissement 73b après l'engagement avec la dent d'échappement 63 lorsque la surface d'engagement 73a est libérée. Le mouvement de glissement de la surface de travail 63a de chacune des dents d'échappement 63 le long de la surface de glissement 73b transmet le couple du mobile d'échappement 60 vers la palette de sortie 73.

[0120] L'ancre 71 configurée comme décrit ci-dessus pivote autour de la troisième ligne axiale O3 sur la base de la rotation du balancier-spiral 30, comme décrit ci-dessus.

[0121] De manière spécifique, la cheville d'impulsion 40, qui se déplace quand le balancier-spiral 30 effectue sa rotation alternée, entraîne le pivotement de l'ancre 71 autour de la troisième ligne axiale O3 dans le sens opposée à celui dans lequel le balancier-spiral 30 tourne. Lors de ce processus, la palette d'entrée 72 et la palette de sortie 73 répètent alternativement une incursion dans la trajectoire rotationnelle R de la roue d'échappement 64 et une rétractation en dehors de celle-ci en réponse au mouvement de pivotement de l'ancre 71. La surface de travail 63a de chacune des dents d'échappement 63 de la roue d'échappement 64 est donc autorisée à venir en prise avec la surface d'engagement 72a de la palette d'entrée 72, avec la surface d'engagement 73a de la palette de sortie 73.

[0122] En particulier, puisque la palette d'entrée 72 et la palette de sortie 73 sont disposées de manière à prendre en sandwich la troisième ligne axiale O3, lorsque l'une des dents d'échappement 63 vient en prise avec la palette d'entrée 72, la palette de sortie 73 se dégage d'une autre dent d'échappement 63, tandis que lorsqu'une des dents d'échappement 63 vient en prise avec la palette de sortie 73, la palette d'entrée 72 se dégage d'une autre dent d'échappement 63.

[0123] Plus spécifiquement, lorsque le balancier-spiral 30 tourne dans le premier sens de rotation M1, et après que l'engagement entre l'une des dents d'échappement 63 et la palette d'entrée 72 est libérée, et une autre dent d'échappement 63 vient en contact avec la palette de contact 50, une autre dent d'échappement 63 vient en prise avec la palette de sortie 73. Lorsque le balancier-spiral 30 tourne dans le deuxième sens de rotation M2, et après que l'engagement entre l'une des dents d'échappement 63 et la palette de sortie 73 est libérée, et que la dent d'échappement 63 glisse le long de la surface de glissement 73b de la palette de sortie 73 et se déplace relativement à celle-ci, une autre dent d'échappement 63 vient en prise avec la palette d'entrée 72. Ce point sera décrit en détail plus loin.

[0124] L'échappement 13 comprend en outre une première goupille de limitation 90 et une deuxième goupille de limitation 91, qui positionnent l'ancre 71 lorsque la palette d'entrée 72 et la palette de sortie 73 viennent se mettre en prise avec la roue d'échappement 64 du mobile d'échappement 60.

[0125] La première goupille de limitation 90 est disposée du côté opposé au mobile d'échappement 60 par rapport au bras d'ancre 76. La deuxième goupille de limitation 91 est disposée du côté opposé au mobile d'échappement 60 par rapport à l'autre bras d'ancre 77. La première goupille de limitation 90 et la deuxième goupille de limitation 91 sont, par exemple, fixées de manière à faire saillie vers le haut par rapport à la platine 11 et chacune atteint une position en hauteur alignée sur le niveau du corps d'ancre 78.

[0126] Puisque la première goupille de limitation 90 et la deuxième goupille de limitation 91 sont disposées comme décrit ci-dessus, une surface latérale externe 76a du bras d'ancre 76, qui est la surface latérale externe située du côté opposé à la surface latérale externe faisant face au mobile d'échappement 60, peut être amenée en contact avec la première goupille de limitation 90. La première goupille de limitation 90 peut empêcher un mouvement de pivotement de l'ancre 71, mais positionne l'ancre 71. De manière similaire, une surface latérale externe 77a de l'autre bras d'ancre 77, qui est la surface latérale externe située du côté opposé de la surface latérale externe faisant face au mobile d'échappement 60, peut être amenée en contact avec la deuxième goupille de limitation 91. La deuxième goupille de limitation 91 peut ainsi empêcher un mouvement de pivotement de l'ancre 71, mais positionne l'ancre 71.

[0127] La palette d'entrée 72 décrite ci-dessus est fixée au bras d'ancre 76 de sorte telle que la surface d'engagement 72a ayant un angle d'incidence de tirage prédéterminé vienne en prise avec la surface de travail 63a de chacune des dents d'échappement 63.

[0128] En outre, en considération de la définition suivante: la première ligne droite L1 est une ligne imaginaire qui relie la troisième ligne axiale O3 de l'arbre 75 vers la pointe de l'une des dents d'échappement 63; et la deuxième ligne droite

L2 est une ligne imaginaire perpendiculaire à la première ligne droite L1, la palette d'entrée 72 est fixée au bras d'ancre 76 de telle manière que l'engagement avec la surface 72a de la palette d'entrée 72 soit effectué selon une inclinaison par rapport à la deuxième ligne droite L2 correspondant à un angle prédéterminé a orienté dans le sens des aiguilles d'une montre M3, qui est le sens dans lequel le mobile d'échappement 60 tourne, lorsque la surface d'engagement 72a de la palette d'entrée 72 vient en prise avec la surface de travail 63a de la dent d'échappement 63, comme représenté sur la fig. 6. L'angle prédéterminé a varie, par exemple, d'environ 11° à 16°.

[0129] Puisque l'engagement avec la surface 72a de la palette d'entrée 72 s'effectue selon une inclinaison correspondant à l'angle prédéterminé a par rapport à la deuxième ligne droite L2, comme décrit ci-dessus, le couple en rotation produit par le mobile d'échappement 60 entraîne le fait qu'un couple agisse sur la palette d'entrée 72, lorsque l'une des dents d'échappement 63 se met en prise avec la palette d'entrée 72, de telle manière que la palette d'entrée 72 est tirée vers le mobile d'échappement 60. L'engagement entre chacune des dents d'échappement 63 et la palette d'entrée 72 peut par conséquent être stabilisé, et grâce à cela, tout décalage ou n'importe quel autre changement dans la position où la palette d'entrée 72 vient en prise avec la dent d'échappement 63 en raison, par exemple, d'une perturbation, peut être évité. Le réglage de l'angle d'incidence de tirage peut par conséquent éviter une situation dans laquelle le mouvement de pivotement de l'ancre 71 incite, en raison d'une perturbation, par exemple le petit collet 37 et le dard 82 à être amenés en contact mutuel, provoquant un fonctionnement anormal qui empêche l'oscillation libre du balancier-spiral 30.

[0130] La palette de sortie 73 est également fixée au bras d'ancre 77 de telle manière que la surface d'engagement 73a ayant un angle d'incidence de tirage prédéterminé vienne en prise avec la surface de travail 63a de chacune des dents d'échappement 63, comme l'est la palette d'entrée 72.

[0131] Par ailleurs, la palette de sortie 73 est fixée au bras d'ancre 77 de telle manière que la surface d'engagement 73a de la palette de sortie 73 soit inclinée par rapport à la deuxième ligne droite L2 selon un angle prédéterminé a dans le sens des aiguilles d'une montre M3, qui est le sens dans lequel le mobile d'échappement 60 tourne, lorsque la surface d'engagement 73a de la palette de sortie 73 vient en prise avec la surface de travail 63a de l'une des dents d'échappement 63 (voir la fig. 10). L'angle prédéterminé avarie, par exemple, d'environ 11 ° à 16°.

[0132] Puisque la surface d'engagement 73a de la palette de sortie 73 est inclinée selon l'angle prédéterminé a par rapport à la deuxième ligne droite L2, comme décrit ci-dessus, le couple rotatif produit par le mobile d'échappement 60 provoque l'action d'un couple sur la palette de sortie 73, lorsque l'une des dents d'échappement 63 vient en prise avec la palette de sortie 73, de telle manière que la palette de sortie 73 est tirée vers le mobile d'échappement 60. L'engagement entre chacune des dents d'échappement 63 et la palette de sortie 73 peut par conséquent être stabilisée, dans la mesure où un décalage ou n'importe quel autre changement dans la position où la palette de sortie 73 vient en prise avec la dent d'échappement 63 en raison, par exemple, d'une perturbation, peut être évité. Un réglage de l'angle d'incidence de tirage peut par conséquent éviter de se retrouver dans une situation dans laquelle un mouvement de pivotement de l'ancre 71 incite, en raison d'une perturbation, par exemple le petit collet 37 et le dard 82 à être amenés en contact mutuel pour provoquer un fonctionnement anormal qui empêche la libre oscillation du balancier-spiral 30.

[0133] Dans l'échappement 13 configuré comme décrit ci-dessus, la rotation du mobile d'échappement 60 est contrôlée de telle manière qu'un premier angle d'action rotationnel θ1 (voir les fig. 15 et 16) du mobile d'échappement 60 qui transmet directement le couple au balancier-spiral 30 et un deuxième angle d'action rotationnel θ2 (voir les fig. 15 et 16) du mobile d'échappement 60 qui transmet indirectement le couple au balancier-spiral 30 diffèrent l'un de l'autre.

[0134] De manière spécifique, la rotation du mobile d'échappement 60 est contrôlée de telle manière par l'élément de contrôle 70, qui inclut l'ancre 71, que le premier angle d'action rotationnel θ1 est plus grand que le deuxième angle d'action rotationnel θ2. Ce point sera décrit plus tard en détail.

(Fonctionnement de l'échappement)

[0135] Dans ce qui suit, on décrira le fonctionnement de l'échappement 13 configuré comme décrit ci-dessus.

[0136] Dans un état de début de fonctionnement dans la description qui suit, la surface de travail 63a de l'une des dents d'échappement 63 est en prise avec la surface d'engagement 72a de la palette d'entrée 72, et la surface latérale externe 77a de l'autre bras d'ancre 77 est en contact avec la deuxième goupille de limitation 92 pour positionner l'ancre 71, comme représenté sur la fig. 6. La rotation du mobile d'échappement 60 est par conséquent arrêtée. Par ailleurs, l'oscillation libre du balancier-spiral 30 a déplacé la cheville d'impulsion 40 dans le premier sens de rotation M1, et la cheville d'impulsion 40 est entrée dans la fourchette 81. La palette de contact 50 s'est rétractée en dehors de la trajectoire rotationnelle R de la roue d'échappement 64.

[0137] Le fonctionnement de l'échappement 13 en réponse à la rotation alternée du balancier-spiral 30 sera décrit de manière séquentielle depuis l'état de début de fonctionnement décrit ci-dessus.

[0138] Lorsque l'énergie de rotation (puissance) accumulée dans le spiral fait tourner davantage le balancier-spiral 30 dans le premier sens de rotation M1 en partant de l'état représenté sur la fig. 6, la cheville d'impulsion 40 vient en contact et se met en prise avec une surface interne de la fourchette 81, qui est la surface interne faisant face à la corne 80 située du côté vers lequel la cheville d'impulsion 40 se déplace, et la cheville d'impulsion 40 agit sur la fourchette 81 dans le premier sens de rotation M1. L'énergie du spiral est donc transmise à l'ancre 71 via la cheville d'impulsion 40.

[0139] Lorsque la cheville d'impulsion 40 est en prise avec la fourchette 81, la partie en forme de croissant de lune 43 agencée dans le petit collet 37 empêche le petit collet 37 et le dard 82 d'entrer en contact l'un avec l'autre. L'énergie du balancier-spiral 30 peut par conséquent être efficacement transmise à l'ancre 71.

[0140] Par conséquent, l'ancre 71 pivote dans le sens des aiguilles d'une montre autour de la troisième ligne axiale O3, et la surface latérale externe 77a du bras d'ancre 77 se sépare de la deuxième goupille de limitation 91, comme représenté sur la fig. 8. En outre, le mouvement de pivotement de l'ancre 71 déplace la palette d'entrée 72 dans une direction s'éloignant de la roue d'échappement 64 (direction dans laquelle la palette d'entrée 72 se rétracte en dehors de la trajectoire rotationnelle R de la roue d'échappement 64).

[0141] Le mouvement de la palette d'entrée 72 vers une position légèrement à l'extérieur de la trajectoire rotationnelle R de la roue d'échappement 64 peut ainsi provoquer l'écartement de la palette d'entrée 72 vis-à-vis des dents d'échappement 63, afin de libérer l'engagement entre la palette d'entrée 72 et la dent d'échappement 63. Le mobile d'échappement arrêté 60 peut donc être libéré.

[0142] Lorsque l'engagement entre l'une des dents d'échappement 63 et la palette d'entrée 72 est libéré, le mobile d'échappement 60 se rétracte pour un instant non pas dans le sens des aiguilles d'une montre M3, qui est la direction principale dans laquelle le mobile d'échappement 60 tourne, mais dans le sens contraire des aiguilles d'une montre M4, qui est opposé au sens des aiguilles d'une montre M3. Après cette rétractation pour un instant, le couple transmis via le train d'engrenage avant 12 redémarre la rotation du mobile d'échappement 60 dans le sens des aiguilles d'une montre M3.

[0143] La rétractation du mobile d'échappement 60 pour un instant décrit ci-dessus permet une mise en prise plus fiable avec le train d'engrenage avant 12, ce grâce à quoi le train d'engrenage avant 12 peut fonctionner de manière stable, particulièrement fiable.

[0144] Lorsque le mobile d'échappement 60 redémarre la rotation dans le sens des aiguilles d'une montre M3, la surface de travail 63a d'une autre dent d'échappement 63 vient en contact (en collision) avec la surface de contact 51 de la palette de contact 50 qui a pénétré à l'intérieur de la trajectoire rotationnelle R de la roue d'échappement 64 en réponse à la rotation du balancier-spiral 30 dans le premier sens de rotation M1, comme représenté sur la fig. 9. Par conséquent, le couple transmis au mobile d'échappement 60 peut être transmis directement au balancier-spiral 30 via la palette de contact 50 et le double plateau 35, et l'ancre 71 est ainsi autorisée à pivoter de manière continue pour suivre la cheville d'impulsion 40. La transmission directe mentionnée ci-dessus du couple transmis au mobile d'échappement 60 au balancier-spiral 30 permet un réapprovisionnement en couple du balancier-spiral 30.

[0145] Lorsque n'importe laquelle des dents d'échappement 63 vient en contact avec la palette de contact 50 comme décrit ci-dessus, la dent d'échappement 63 tourne dans le sens des aiguilles d'une montre M3 tout en glissant le long de la surface de contact 51, et la palette de contact 50 se déplace graduellement dans une direction s'éloignant de la roue d'échappement 64 (direction dans laquelle la palette de contact 50 se rétracte en dehors de la trajectoire rotationnelle R de la roue d'échappement 64) quand le balancier-spiral 30 tourne. Par ailleurs, lorsque la rotation du balancier-spiral 30 déplace la palette de contact 50 dans la direction d'éloignement vis-à-vis de la roue d'échappement 64, le mouvement de pivotement de l'ancre 71 dans le sens des aiguilles d'une montre provoque le démarrage du mouvement d'incursion de la palette de sortie 73 à l'intérieur de la trajectoire rotationnelle R de la roue d'échappement 64.

[0146] Ensuite, lorsque la palette de contact 50 se déplace vers une position en dehors de la trajectoire rotationnelle R de la roue d'échappement 64, la surface de travail 63a d'une autre dent d'échappement 63 vient en contact avec la surface d'engagement 73a de la palette de sortie 73, qui a pénétré à l'intérieur de la trajectoire rotationnelle R de la roue d'échappement 64, comme représenté sur la fig. 10.

[0147] Au moment d'un contact initial, l'ancre 71 se déplace vers la première goupille de limitation 90 quand elle pivote dans le sens des aiguilles d'une montre, et n'est pas en contact avec la première goupille de limitation 90. L'ancre 71 pivote par conséquent légèrement alors que la dent d'échappement 63 reste en contact avec la palette de sortie 73. Ensuite, lorsque la surface latérale externe 76a du bras d'ancre 76 arrive en contact avec la première goupille de limitation 90, l'ancre 71 ne pivote plus et reste dans cette position. La dent d'échappement 63 se met par conséquent en prise avec la palette de sortie 73. La rotation du mobile d'échappement 60 est par conséquent arrêtée, et l'ancre 71 est arrêtée. La fig. 10 montre l'état dans lequel la surface latérale externe 76a du bras d'ancre 76 est en contact avec la première goupille de limitation 90.

[0148] A ce moment-là, la transmission directe de couple au balancier-spiral 30 se termine.

[0149] Ensuite, la cheville d'impulsion 40 s'éloigne de l'intérieur de la fourchette 81 et se sépare de l'ancre 71 quand le balancier-spiral 30 tourne dans le premier sens de rotation M1. Plus tard, l'inertie du balancier-spiral 30 lui permet de continuer à tourner dans le premier sens de rotation M1, et de l'énergie rotative du balancier-spiral 30 est accumulée dans le ressort spiral. Ensuite, lorsque toute l'énergie rotative est accumulée dans le spiral, le balancier-spiral 30 arrête de tourner dans le premier sens de rotation M1, reste stationnaire pendant un moment, et commence à tourner ensuite dans le deuxième sens de rotation M2, qui est opposé au premier sens de rotation M1, sur la base de l'énergie rotative accumulée dans le spiral.

[0150] La cheville d'impulsion 40 commence donc à se déplacer à nouveau vers l'ancre 71 pour s'en rapprocher quand le balancier-spiral 30 tourne dans le deuxième sens de rotation M2.

[0151] Ensuite, lorsque la cheville d'impulsion 40 pénètre à l'intérieur de la fourchette 81 de l'ancre 71, la cheville d'impulsion 40 vient en contact et se met en prise avec une surface interne de la fourchette 81 qui est la surface interne faisant face à la corne 80 située du côté vers lequel la cheville d'impulsion 40 se déplace, et agit sur la fourchette 81 dans le deuxième sens de rotation M2. L'énergie du spiral est donc transmise à l'ancre 71 via la cheville d'impulsion 40.

[0152] En conséquence, l'ancre 71 pivote dans le sens contraire des aiguilles d'une montre autour de la troisième ligne axiale O3, et la surface latérale externe 76a du bras d'ancre 71 se sépare de la première goupille de limitation 90, comme représenté sur la fig. 12. En outre, le mouvement de pivotement de l'ancre 71 déplace la palette de sortie 73 dans une direction d'éloignement de la roue d'échappement 64 (direction dans laquelle la palette de sortie 73 se rétracte en dehors de la trajectoire rotationnelle R de roue d'échappement 64). Le mouvement de la surface d'engagement 73a de la palette de sortie 73 vers une position légèrement à l'extérieur de la trajectoire rotationnelle R de la roue d'échappement 64 permet de libérer l'engagement entre la surface d'engagement 73a et la dent d'échappement 63. Le mobile d'échappement 60, qui était arrêté, peut donc être libéré.

[0153] Puisque la palette de sortie 73, qui possède un angle d'incidence de tirage, tout comme la palette d'entrée 72, le mobile d'échappement 60 reprend sa rotation dans le sens des aiguilles d'une montre M3 sur la base de l'énergie transmise via le rouage avant 12 après s'être rétractée dans le sens contraire des aiguilles d'une montre M4 pour un instant. Ensuite, lorsque le mobile d'échappement 60 redémarre sa rotation dans le sens des aiguilles d'une montre M3, le mobile d'échappement 60 tourne dans la direction dans le sens des aiguilles d'une montre M3, alors que la dent d'échappement 63 glisse le long de la surface de glissement 73b de la palette de sortie 73 et se déplace de manière relative par rapport à celle-ci, comme représenté sur la fig. 13. En conséquence, le couple transmis au mobile d'échappement 60 peut être transmis à l'ancre 71 via la palette de sortie 73, et une surface interne de la fourchette 81, qui est la surface interne faisant face à la corne 80 située du côté opposé au sens dans lequel la cheville d'impulsion 40 se déplace, vient en contact et se met en prise avec la cheville d'impulsion 40.

[0154] Par conséquent, le couple transmis au mobile d'échappement 60 peut être transmis indirectement au balancier-spiral 30 via l'ancre 71, et l'ancre 71 est ainsi autorisée à pivoter de manière continue pour suivre la cheville d'impulsion 40. La transmission indirecte mentionnée ci-dessus du couple transmis au mobile d'échappement 60 au balancier-spiral 30 permet un réapprovisionnement du balancier-spiral 30 en termes de couple.

[0155] Ensuite, lorsque le mouvement de pivotement de l'ancre 71 déplace la palette de sortie 73 vers une position en dehors de la trajectoire rotationnelle R de la roue d'échappement 64, la surface de travail 63a d'une autre dent d'échappement 63 vient en contact avec la surface d'engagement 72a de la palette d'entrée 72 ayant pénétré à l'intérieur de la trajectoire rotationnelle R de la roue d'échappement 64, comme représenté sur la fig. 14.

[0156] Lors du contact initial, l'ancre 71 se déplace vers la deuxième goupille de limitation 91 quand elle pivote dans le sens contraire des aiguilles d'une montre et n'est pas en contact avec la deuxième goupille de limitation 91. L'ancre 71 pivote par conséquent légèrement alors que la dent d'échappement 63 et la palette d'entrée 72 restent en contact mutuel. Ensuite, lorsque la surface latérale externe 77a de l'autre bras d'ancre 77 vient en contact avec la deuxième goupille de limitation 91, l'ancre 71 ne pivote plus et reste dans cette position. La dent d'échappement 63 se met par conséquent en prise avec la palette d'entrée 72. La rotation du mobile d'échappement 60 est par conséquent arrêtée, et l'ancre 71 est arrêtée. La fig. 14 représente l'état dans lequel la surface latérale externe 77a du bras d'ancre 77 est en contact avec la deuxième goupille de limitation 91.

[0157] A ce moment-là, la transmission indirecte de couple au balancier-spiral 30 se termine.

[0158] Ensuite, l'échappement 13 répète le fonctionnement décrit ci-dessus quand le balancier-spiral 30 effectue sa rotation alternée. Par conséquent, la palette de contact 50 et l'ancre 71, qui comprend la palette d'entrée 72 et la palette de sortie 73, peut être utilisée pour effectuer alternativement (de manière commutable) la transmission directe de couple direct et la transmission indirecte de couple lors du mouvement alterné, c'est-à-dire de va et vient, du balancier-spiral 30, permettant un réapprovisionnement du balancier-spiral 30 en termes de couple avec le couple transmis au mobile d'échappement 60, et un contrôle de la rotation du mobile d'échappement 60 selon une oscillation fixe correspondant à celle du balancier-spiral 30.

[0159] Autrement dit, l'échappement 13 est autorisé à fonctionner comme un échappement de type à impact mi-direct/mi-indirect utilisant l'impact direct et l'impact indirect, grâce auquel l'efficacité de transmission de couple peut être augmentée comparé à un échappement à ancre suisse de l'art antérieur, qui est un échappement du type d'impact indirect.

[0160] En particulier, dans l'échappement 13 selon le présent mode de réalisation, la rotation du mobile d'échappement 60 est contrôlée par l'élément de contrôle 70 de sorte que le premier angle d'action rotationnel $\theta 1$ du mobile d'échappement 60 qui transmet directement le couple transmis au balancier-spiral 30 lorsque le balancier-spiral 30 tourne dans le premier sens de rotation M1 et le deuxième angle d'action rotationnel $\theta 2$ du mobile d'échappement 60 qui transmet indirectement le couple transmis au balancier-spiral 30 lorsque le balancier-spiral 30 tourne dans le deuxième sens de rotation M2 ne sont pas égaux l'un par rapport à l'autre mais diffèrent l'un de l'autre (c'est-à-dire sont inégaux l'un à l'autre), comme illustré sur les fig. 15 et 16.

[0161] Spécifiquement, la rotation du mobile d'échappement 60 est contrôlée de manière à ce que le premier angle d'action rotationnel θ1 soit plus grand que le deuxième angle d'action rotationnel θ2.

[0162] Plus spécifiquement, la rotation du mobile d'échappement 60 est contrôlée de manière à ce que le ratio entre le premier angle d'action rotationnel θ1 et un angle d'action rotationnel prédéterminé θ3, par lequel le mobile d'échappement 60 tourne suite à un mouvement alterné du balancier-spiral 30, soit plus grand que 50% mais plus petit que 75%.

[0163] Selon le présent mode de réalisation, la rotation du mobile d'échappement 60 est contrôlée de telle sorte que le ratio entre le premier angle d'action rotationnel θ1 et l'angle d'action rotationnel prédéterminé θ3, par lequel le mobile d'échappement 60 tourne suite à un mouvement alterné du balancier-spiral 30, est d'environ 66.7%.

[0164] Le contrôle de la rotation du mobile d'échappement 60 est décrit en détail dans ce qui suit.

[0165] Dans le fonctionnement décrit ci-dessus, le mobile d'échappement 60 tourne d'une quantité correspondant à une dent lors d'un mouvement alterné du balancier-spiral 30. Le mobile d'échappement 60, qui possède huit dents d'échappement 63, tourne de 45 degrés autour de la première ligne axiale O1 lors d'un mouvement alterné du balancier-spiral 30, c'est-à-dire lorsqu'il a effectué une fois son mouvement de va et vient. L'angle d'action rotationnel prédéterminé 63, par lequel le mobile d'échappement 60 tourne dans un mouvement alternatif du balancier-spiral 30, est par conséquent de 45 degrés, comme représenté sur la fig. 15.

[0166] Le mobile d'échappement 60 tourne ensuite, pendant la période s'étalant entre l'état représenté sur la fig. 6 (état dans lequel la surface de travail 63a de la dent d'échappement 63 se met en prise avec une surface d'engagement 72a de palette d'entrée 72) et l'état représenté sur la fig. 10 (état dans lequel la surface de travail 63a de la dent d'échappement 63 vient en prise avec une surface d'engagement 73a de palette de sortie 73) alors que le balancier-spiral 30 tourne dans le premier sens de rotation M1. Le couple est transmis directement au balancier-spiral 30 durant cette période.

[0167] L'angle selon lequel le mobile d'échappement 60 tourne depuis l'état représenté sur la fig. 6, matérialisé par une ligne pointillée longue et une double ligne pointillée courte à l'état représenté sur la fig. 10, dessiné en trait plein, correspond au premier angle d'action rotationnel θ1, illustré sur la fig. 15, et est de 30 degrés selon le présent mode de réalisation.

[0168] Le mobile d'échappement 60 continue à tourner davantage durant la période s'étalant entre l'état représenté sur la fig. 11 (état dans lequel une surface de travail 63a de la dent d'échappement 63 vient en prise avec une surface d'engagement 73a de la palette de sortie 73) et l'état représenté sur la fig. 14 (état dans lequel la surface de travail 63a de la dent d'échappement 63 vient en prise avec la surface d'engagement 72a de palette d'entrée 72) alors que le balancier-spiral 30 tourne dans le deuxième sens de rotation M2. Le couple est alors transmis indirectement au balancier-spiral 30 durant cette période.

[0169] L'angle selon lequel le mobile d'échappement 60 tourne depuis l'état représenté sur la fig. 11, matérialisé par une ligne pointillée longue suivie d'une double ligne pointillée courte, à l'état représenté sur la fig. 14 dessiné en trait plein, correspond au deuxième angle d'action rotationnel θ2, illustré sur la fig. 16, et est de 15 degrés selon le présent mode de réalisation.

[0170] La somme du premier angle d'action rotationnel θ1 et du deuxième angle d'action rotationnel θ2 correspond à l'angle d'action rotationnel prédéterminé θ3.

[0171] Par conséquent, selon le présent mode de réalisation, le ratio entre le premier angle d'action rotationnel θ1 (30 degrés) et l'angle d'action rotationnel prédéterminé θ3 (45 degrés), selon lequel le mobile d'échappement 60 tourne lors d'un mouvement alterné du balancier-spiral 30, est fixé à environ 66.7%, comme décrit ci-dessus.

[0172] Dans l'échappement 13 selon le présent mode de réalisation, où le premier angle d'action rotationnel θ1 et le deuxième angle d'action rotationnel θ2 diffèrent l'un de l'autre (c'est-à-dire sont inégaux l'un vis-à-vis de l'autre), la quantité de couple transmis directement au balancier-spiral 30 et la quantité de couple transmis indirectement au balancier-spiral 30 peuvent être ajustées de telle sorte qu'un bilan d'approvisionnement optimal entre les deux est obtenu. En conséquence, l'efficacité de transmission de couple (efficacité d'échappement) peut être augmentée.

[0173] Par ailleurs, puisqu'il n'est pas nécessaire de disposer le mobile d'échappement 60, le balancier-spiral 30, et l'ancre 71 de telle manière que le premier angle d'action rotationnel θ1 et le deuxième angle d'action rotationnel θ2 soient intentionnellement réglés de sorte à être égaux l'un à l'autre, le mobile d'échappement 60, le balancier-spiral 30, et l'ancre 71 peuvent être conçus et agencés librement, et disposés en devant tenir compte de peu de contraintes. L'échappement 13 peut par conséquent être optimisé en termes d'aménagement, et l'échappement résultant présente seulement une petite quantité d'erreurs de fonctionnement et excelle en termes de précision de mesure du temps (présente de petits écarts de marche).

[0174] En particulier, puisque le premier angle d'action rotationnel θ1 est plus grand que le deuxième angle d'action rotationnel θ2, la proportion de transmission directe de couple du mobile d'échappement 60 au balancier-spiral 30 lors d'un mouvement alterné du balancier-spiral 30 peut être plus grande que la transmission indirecte de couple, ce grâce à quoi l'efficacité de transmission de couple peut être encore facilement augmentée.

[0175] En outre, dans le présent mode de réalisation, le ratio entre le premier angle d'action rotationnel θ1 et l'angle d'action rotationnel prédéterminé θ3 est fixé à 66.7%, qui est plus petit que 75%, permet d'éviter de se retrouver dans une

situation dans laquelle l'angle d'action rotationnel selon lequel le mobile d'échappement 60 tourne lorsque le balancier-spiral 30 tourne dans le deuxième sens de rotation M2 (deuxième angle d'action rotationnel θ2) est, par exemple, un angle d'action excessivement petit. Un angle d'action qui permet, par exemple, à l'ancre 71 de fonctionner correctement peut donc être assuré, ce grâce à quoi l'échappement 13 peut être fiable en faisant en sorte de fonctionner de manière stable.

[0176] L'ancre 71 peut par conséquent fonctionner correctement avec une excellente efficacité de transmission de couple maintenue sur la durée, et grâce à laquelle l'échappement 13 peut être fiable en présentant des performances de fonctionnement stables.

[0177] De plus, puisque le nombre de dents d'échappement 63 est égal à 8, une situation dans laquelle le premier angle d'action rotationnel θ1 et le deuxième angle d'action rotationnel θ2 ont chacun, par exemple, une valeur excessivement grande peut être évitée. Par conséquent, l'ancre 71 peut être conçue de telle sorte, par exemple, qu'elle puisse être compacte, et l'ancre 71 n'a pas besoin de pivoter selon des mouvements de grande amplitude. L'échappement 13 peut par conséquent être fiable et agir de façon encore plus stable.

[0178] Comme décrit ci-dessus, l'échappement 13 selon le présent mode de réalisation n'excelle pas seulement en termes d'efficacité de transmission de couple, mais présente seulement une petite quantité d'erreur de fonctionnement et excelle en termes de précision de mesure du temps.

[0179] En outre, le mouvement 10 et la pièce d'horlogerie 1 selon le présent mode de réalisation, qui comprennent chacun l'échappement 13 décrit ci-dessus, présentent aussi chacun de hautes performances et une excellente précision en termes de mesure du temps. En particulier, puisque le mouvement 10 et la pièce d'horlogerie 1 comprennent chacun l'échappement 13 qui excelle en termes d'efficacité de transmission de couple, l'angle d'oscillation du balancier-spiral 30 est, par exemple, facilement maintenu à une valeur correspondant à une grande amplitude, grâce à laquelle le mouvement 10 et la pièce d'horlogerie 1 sont peu susceptibles d'être affectés, par exemple, par une perturbation.

(Deuxième mode de réalisation)

[0180] Dans ce qui suit, on décrira un deuxième mode de réalisation selon l'invention en se référant aux dessins. Dans ce deuxième mode de réalisation, les mêmes composants que ceux du premier mode de réalisation portant les mêmes numéros de référence et ne seront pas décrits.

[0181] Alors que le mobile d'échappement 60 possède une structure à une seule couche dans le premier mode de réalisation, le mobile d'échappement possède une structure à deux couches dans le deuxième mode de réalisation.

[0182] L'échappement 100 selon ce présent mode de réalisation comprend un mobile d'échappement 101, qui a une structure à deux couches comprenant l'arbre d'échappement 62, autour duquel le pignon d'échappement 61, qui engrène avec le deuxième mobile 23, est formé, une première roue d'échappement 110, et une deuxième roue d'échappement 120, qui est superposée sur la première roue d'échappement 110 selon la direction axiale de la première ligne axiale O1, comme représenté sur les fig. 17 et 18.

[0183] La première roue d'échappement 110 possède la même configuration que celle de la roue d'échappement 64 du premier mode de réalisation et ne sera par conséquent par décrite en détail.

[0184] Selon le présent mode de réalisation, on se réfère aux dents d'échappement 63 du premier mode de réalisation comme constituant les premières dents d'échappement 111, comme illustré sur la fig. 19.

[0185] L'enveloppe de rotation Ri, qui est dessinée par la pointe de chacune des premières dents d'échappement 111 lorsque le mobile d'échappement 101 tourne, est simplement appelée la trajectoire rotationnelle R1 de la première roue d'échappement 110.

[0186] La surface latérale de chacune des premières dents d'échappement 111 qui est la surface latérale située le plus en aval dans le sens des aiguilles d'une montre M3, forme une première surface de travail 111a, qui vient en contact avec la palette de contact 50 et en prise avec la palette d'entrée 72.

[0187] La deuxième roue d'échappement 120 est intégralement fixée à l'arbre d'échappement 62, par exemple, via un chassage, comme la première roue d'échappement 110, et la deuxième roue d'échappement 120 est disposée sous la première roue d'échappement 110, comme illustré sur les fig. 17,18 et 20. La deuxième roue d'échappement 120 possède une pluralité de deuxièmes dents d'échappement 121 et possède une forme plus petite que la première roue d'échappement 110 en termes de diamètre.

[0188] Le nombre de deuxièmes dents d'échappement 121 est égal à 8, comme le nombre de premières dents d'échappement 111. L'enveloppe de rotation R2, qui est dessinée par la pointe de chacune des deuxièmes dents d'échappement 121 lorsque le mobile d'échappement 101 tourne, est simplement appelée la trajectoire rotationnelle R2 de la deuxième roue d'échappement 120.

[0189] La deuxième roue d'échappement 120 est constituée, par exemple, d'un matériau métallique ou d'un matériau ayant une orientation cristalline, tel qu'un monocristal de silicium. Des exemples de procédés de fabrication de la deuxième roue d'échappement 120 peuvent inclure l'électroformage, un procédé LIGA, qui adopte une approche optique, telle qu'une technologie de photolithographie, DRIE, et un moulage par injection de poudre métallique (MIM). Le procédé de fabrication

n'est toutefois limité à aucun des procédés décrits ci-dessus, et la deuxième roue d'échappement 120 peut être formée en utilisant n'importe quel autre procédé de fabrication.

[0190] La deuxième roue d'échappement 120 comprend un moyeu annulaire 122, qui possède un trou d'insertion 122a formé au niveau d'une portion centrale du moyeu 122 et est combinée à l'arbre d'échappement 62 via le trou d'insertion 122a, par exemple, via un chassage, ainsi que quatre troisièmes rayons 123, qui s'étendent radialement vers l'extérieur depuis le moyeu 122 et sont agencés à intervalles réguliers dans la direction circonférentielle, et quatre quatrièmes rayons 124, qui s'étendent radialement vers l'extérieur depuis le moyeu 122 et sont agencés à intervalles réguliers dans la direction circonférentielle. Le moyeu 122, les troisièmes rayons 123, et les quatrièmes rayons 124 sont mutuellement intégrés les uns aux autres dans la deuxième roue d'échappement 120, comme représenté sur la fig. 21.

[0191] Les troisièmes rayons 123 et les quatrièmes rayons 124 sont formés de manière à être agencés alternativement dans la direction circonférentielle, et ils possèdent la même longueur radiale. Les troisièmes rayons 123 et les quatrièmes rayons 124 sont formés pour être coniques avec un effilement au fur et à mesure que l'on s'éloigne vers l'extérieur dans la direction radiale, et l'extrémité avant de chacun des troisièmes rayons 123 et des quatrièmes rayons 124 possède une forme légèrement recourbée dans le sens des aiguilles d'une montre M3. Les extrémités avant recourbées agissent en tant que deuxièmes dents d'échappement 121.

[0192] La deuxième roue d'échappement 120 selon le présent mode de réalisation possède par conséquent 8 deuxièmes dents d'échappement 121. La surface latérale de chacune des deuxièmes dents d'échappement 121, qui est légèrement inclinée vers l'intérieur par rapport au sens des aiguilles d'une montre M3, forme une deuxième surface de travail 121a, qui est amenée en contact avec la palette de sortie 73.

[0193] Les deuxièmes dents d'échappement 121 possèdent la forme des dents d'échappement d'un échappement à ancre suisse, et sont destinées à exercer une force d'impact sur la palette de sortie 73 via les surfaces latérales légèrement inclinées vers l'intérieur par rapport au sens des aiguilles d'une montre M3 (deuxièmes surfaces de travail 121a) afin de transmettre de l'énergie à l'ancre 71.

[0194] La base de chacun des troisièmes rayons 123 possède une forme circonférentielle plus large que la base de chacun des quatrièmes rayons 124. La base de chacun des troisièmes rayons 123 est pourvue d'un troisième ajourement 125 ayant une forme elliptique allongée dans la direction radiale selon une vue en plan. La base de chacun des quatrièmes rayons 124 est pourvue d'un quatrième ajourement 126 ayant une forme triangulaire selon une vue en plan.

[0195] Les troisièmes ajourements 125 sont configurés pour être identiques aux premiers ajourements 68 formés dans la première roue d'échappement 110 et ont la même taille que ceux des premiers ajourements 68.

[0196] Le poids de la deuxième roue d'échappement 120 est réduit principalement par les troisièmes ajourements 125 et les quatrièmes ajourements 126, mais ceci n'est pas indispensable, et d'autres ajourements pourraient être prévus par ailleurs et des portions plus fines ou n'importe quel autre type portion peuvent être prévues dans la mesure où les ajourements additionnels ou les portions plus fines n'affectent pas la performance, la rigidité, ou d'autres facteurs de la deuxième roue d'échappement 120.

[0197] La deuxième roue d'échappement 120 configurée comme décrit ci-dessus est disposée en couches sur la première roue d'échappement 110 de telle sorte que leurs phases mutuelles coïncident, comme illustré sur les fig. 18 et 20. Autrement dit, la deuxième roue d'échappement 120 est superposée à la première roue d'échappement 110 et fixée à l'arbre d'échappement 62 de telle sorte que les bases des troisièmes rayons 123 et des quatrièmes rayons 124 de la deuxième roue d'échappement 120 sont superposées au côté inférieur des extrémités de base des premiers rayons 66 et des deuxièmes rayons 67 de la première roue d'échappement 110.

[0198] En particulier, puisque les troisièmes ajourements 125 sont configurés pour être identiques aux premiers ajourements 68 formés dans la première roue d'échappement 110 et ont la même taille que ceux des premiers ajourements 68, le fait d'aligner les premiers ajourements 68 et les troisièmes ajourements 125 dans la direction circonférentielle permet à la première roue d'échappement 110 et à la deuxième roue d'échappement 120 d'être facilement et correctement alignées l'une avec l'autre en termes de phase.

[0199] L'extrémité avant de chacun des troisièmes rayons 123 et des quatrièmes rayons 124 de la deuxième roue d'échappement 120 est recourbée dans le sens des aiguilles d'une montre M3 par rapport à l'extrémité avant de chacun des premiers rayons 66 et des deuxièmes rayons 67 de la première roue d'échappement 110. La phase des deuxièmes dents d'échappement 121 est par conséquent décalée par rapport à la phase des premières dents d'échappement 111.

[0200] Puisque le mobile d'échappement 101 possède une structure à deux couches incluant la première roue d'échappement 110 et la deuxième roue d'échappement 120 comme décrit ci-dessus, la palette de sortie 73 est agencée de manière à faire saillie en direction du mobile d'échappement 101 de façon plus prononcée que dans le premier mode de réalisation, mais fait saillie vers le haut de façon moins significative que dans le premier mode de réalisation.

(Fonctionnement de l'échappement)

[0201] L'échappement 100 selon le présent mode de réalisation configuré comme décrit ci-dessus peut aussi prévoir les mêmes particularités de fonctionnement que ceux prévus dans le premier mode de réalisation. Le fonctionnement de l'échappement 100 selon le présent mode de réalisation sera décrit brièvement ci-dessous.

[0202] Dans un état de début de fonctionnement, la première surface de travail 111a de l'une des premières dents d'échappement 111 est en prise avec surface d'engagement 72a de la palette d'entrée 72, et la surface latérale externe 77a de l'autre bras d'ancre 77 est en contact avec la deuxième goupille de limitation 92 pour positionner l'ancre 71, comme représenté sur la fig. 20. La rotation du mobile d'échappement 101 est par conséquent arrêtée. En outre, l'oscillation libre du balancier-spiral 30 a déplacé la cheville d'impulsion 40 dans le premier sens de rotation M1, et la cheville d'impulsion 40 est entrée dans la fourchette 81. La palette de contact 50 s'est rétractée en dehors de la trajectoire rotationnelle R1 de la première roue d'échappement 110.

[0203] Le fonctionnement de l'échappement 100 en réponse à la rotation alternée du balancier-spiral 30 sera décrit de manière séquentielle en partant de l'état de début de fonctionnement décrit ci-dessus.

[0204] Lorsque le balancier-spiral 30 tourne dans le premier sens de rotation M1 depuis l'état représenté sur la fig. 20, la cheville d'impulsion 40 vient en contact et se met en prise avec la surface interne de la fourchette 81, et la cheville d'impulsion 40 agit en compression sur la fourchette 81 dans le premier sens de rotation M1. L'énergie du spiral est donc transmise à l'ancre 71 via la cheville d'impulsion 40.

[0205] Par conséquent, l'ancre 71 pivote dans le sens des aiguilles d'une montre autour de la troisième ligne axiale O3, et la surface latérale externe 77a de l'autre bras d'ancre 77 se sépare de la deuxième goupille de limitation 91. Par ailleurs, le mouvement de pivotement de l'ancre 71 déplace la palette d'entrée 72 dans une direction d'éloignement vis-à-vis de la première roue d'échappement 110 (direction selon laquelle la palette d'entrée 72 se rétracte en dehors de la trajectoire rotationnelle R1 de la première roue d'échappement 110). Le mouvement de la palette d'entrée 72 vers une position légèrement en dehors de la trajectoire rotationnelle R1 de la première roue d'échappement 110 peut ensuite faire en sorte que la palette d'entrée 72 se dégage de l'une des premières dents d'échappement 111 afin de libérer l'engagement entre la palette d'entrée 72 et la première dent d'échappement 111. Le mobile d'échappement 101, qui était arrêté, peut donc être libéré.

[0206] Lorsque le mobile d'échappement 101 reprend sa rotation dans le sens des aiguilles d'une montre M3, la première surface de travail 111a d'une autre première dent d'échappement 111 vient en contact (en collision) avec la surface de contact 51 de la palette de contact 50 ayant pénétré à l'intérieur de la trajectoire rotationnelle R1 de la première roue d'échappement 110 quand le balancier-spiral 30 tourne dans le premier sens de rotation M1, comme représenté sur la fig. 22.

[0207] Le couple transmis au mobile d'échappement 101 peut donc être transmis directement au balancier-spiral 30 via la palette de contact 50 et le double plateau 35. La transmission directe du couple transmis au mobile d'échappement 101 au balancier-spiral 30 permet par conséquent un réapprovisionnement du balancier-spiral 30 en termes de couple.

[0208] Lorsque l'une des premières dents d'échappement 111 vient en contact avec la palette de contact 50 comme décrit ci-dessus, la première dent d'échappement 111 tourne dans le sens des aiguilles d'une montre M3 tout en glissant le long de la surface de contact 51, et la palette de contact 50 se déplace graduellement dans une direction s'éloignant de la première roue d'échappement 110 (direction selon laquelle la palette de contact 50 se rétracte en dehors de la trajectoire rotationnelle R1 de la première roue d'échappement 110) quand le balancier-spiral 30 tourne. En outre, lorsque la rotation du balancier-spiral 30 déplace la palette de contact 50 en direction de la première roue d'échappement 110, le mouvement de pivotement de l'ancre 71 dans le sens des aiguilles d'une montre provoque l'incursion de la palette de sortie 73 à l'intérieur de la trajectoire rotationnelle R2 de la deuxième roue d'échappement 120.

[0209] Ensuite, lorsque la palette de contact 50 se déplace vers une position en dehors de la trajectoire rotationnelle R1 de la première roue d'échappement 110, la deuxième surface de travail 121 a d'une autre deuxième dent d'échappement 121 vient en contact avec la surface d'engagement 73a de la palette de sortie 73 qui a pénétré à l'intérieur de la trajectoire rotationnelle R2 de la deuxième roue d'échappement 120, comme représenté sur la fig. 23.

[0210] Dans une étape de contact initial, l'ancre 71 se déplace vers la première goupille de limitation 90 tandis qu'elle pivote dans le sens des aiguilles d'une montre et n'est pas en contact avec la première goupille de limitation 90. L'ancre 71 pivote par conséquent légèrement alors que la deuxième dent d'échappement 121 reste en contact avec la palette de sortie 73. Ensuite, lorsque la surface latérale externe 76a du bras d'ancre 76 vient en contact avec la première goupille de limitation 90, l'ancre 71 ne pivote plus et garde sa position. La deuxième dent d'échappement 121 vient par conséquent en prise avec la palette de sortie 73. La rotation du mobile d'échappement 101 est par conséquent arrêtée, et l'ancre 71 est arrêtée. La fig. 23 représente l'état dans lequel la surface latérale externe 76a du bras d'ancre 76 est en contact avec la première goupille de limitation 90.

[0211] A ce moment-là, la transmission directe de couple au balancier-spiral 30 se termine.

[0212] Ensuite, la cheville d'impulsion 40 s'éloigne de l'intérieur de la fourchette 81 et se sépare de l'ancre 71 tandis que le balancier-spiral 30 tourne dans le premier sens de rotation M1. Ensuite, l'inertie du balancier-spiral 30 lui permet de

continuer à tourner dans le premier sens de rotation M1, et de l'énergie rotative du balancier-spiral 30 s'accumule dans le spiral. Ensuite, lorsque toute l'énergie rotative est accumulée dans le spiral, le balancier-spiral 30 arrête de tourner dans le premier sens de rotation M1, reste en position stationnaire pendant un moment, et commence à tourner dans le deuxième sens de rotation M2, qui est opposé au premier sens de rotation M1, sur la base de l'énergie rotative accumulée dans le spiral.

[0213] La cheville d'impulsion 40 commence donc à se déplacer à nouveau en direction de l'ancre 71 et s'approche de celle-ci tandis que le balancier-spiral 30 tourne dans le deuxième sens de rotation M2.

[0214] Ensuite, lorsque la cheville d'impulsion 40 pénètre à l'intérieur de la fourchette 81 de l'ancre 71, la cheville d'impulsion 40 vient en contact et se met en prise avec la surface interne de la fourchette 81, et agit en compression sur la fourchette 81 dans le deuxième sens de rotation M2, comme représenté sur la fig. 24. L'énergie du spiral est donc transmise à l'ancre 71 via la cheville d'impulsion 40.

[0215] Par conséquent, l'ancre 71 pivote dans le sens contraire des aiguilles d'une montre autour de la troisième ligne axiale O3, et la surface latérale externe 76a du bras d'ancre 71 se sépare de la première goupille de limitation 90. Par ailleurs, le mouvement de pivotement de l'ancre 71 déplace la palette de sortie 73 dans une direction d'éloignement de la deuxième roue d'échappement 120 (direction selon laquelle la palette de sortie 73 se rétracte en dehors de la trajectoire rotationnelle R2 de la deuxième roue d'échappement 120). Le mouvement de la surface d'engagement 73a de la palette de sortie 73 vers une position légèrement en dehors de la trajectoire rotationnelle R2 de la deuxième roue d'échappement 120 permet à l'engagement entre la surface d'engagement 73a et la deuxième dent d'échappement 121 d'être libéré. Le mobile d'échappement 101, qui était arrêté, peut donc être libéré.

[0216] Ensuite, lorsque le mobile d'échappement 101 redémarre sa rotation dans le sens des aiguilles d'une montre M3, le mobile d'échappement 101 tourne dans le sens des aiguilles d'une montre M3, alors que la deuxième dent d'échappement 121 glisse le long de la surface de glissement 73b de la palette de sortie 73 et se déplace par rapport à cette dernière, comme illustré sur la fig. 25. En conséquence, le couple transmis au mobile d'échappement 101 peut être transmis à l'ancre 71 via la palette de sortie 73. Par conséquent, le couple transmis au mobile d'échappement 101 peut être transmis indirectement au balancier-spiral 30 via l'ancre 71, et la transmission indirecte du couple permet le réapprovisionnement du balancier-spiral 30 en couple.

[0217] Ensuite, lorsque le mouvement de pivotement de l'ancre 71 déplace la palette de sortie 73 vers une position située en dehors de la trajectoire rotationnelle R2 de la deuxième roue d'échappement 120, la première surface de travail 111a d'une autre première dent d'échappement 111 vient en contact avec la surface d'engagement 72a de la palette d'entrée 72 qui a pénétré à l'intérieur de la trajectoire rotationnelle R1 de la première roue d'échappement 110, comme représenté sur la fig. 26.

[0218] Au moment du contact initial, l'ancre 71 se déplace vers la deuxième goupille de limitation 91 tandis qu'elle pivote dans le sens contraire des aiguilles d'une montre et n'est pas en contact avec la deuxième goupille de limitation 91. L'ancre 71 pivote par conséquent légèrement alors que la première dent d'échappement 111 et la palette d'entrée 72 restent en contact mutuel. Ensuite, lorsque la surface latérale externe 77a du bras d'ancre 77 arrive en contact avec la deuxième goupille de limitation 91, l'ancre 71 ne pivote plus et reste dans cette dernière position. La première dent d'échappement 111 se met par conséquent en prise avec la palette d'entrée 72. La rotation du mobile d'échappement 101 est par conséquent arrêtée, et l'ancre 71 est arrêtée. La fig. 26 représente l'état dans lequel la surface latérale externe 77a du bras d'ancre 77 est en contact avec la deuxième goupille de limitation 91.

[0219] A ce moment-là, la transmission indirecte de couple au balancier-spiral 30 se termine.

[0220] Comme décrit ci-dessus, l'échappement 100 selon le présent mode de réalisation effectue ainsi également alternativement une transmission directe de couple et une transmission indirecte de couple indirect lors d'un mouvement alterné du balancier-spiral 30 afin de transmettre le couple transmis au mobile d'échappement 101 au balancier-spiral 30 pour réapprovisionner le balancier-spiral 30 en couple.

[0221] En outre, également dans le présent mode de réalisation, la rotation du mobile d'échappement 101 est contrôlée de telle sorte que le ratio entre le premier angle d'action rotationnel $\theta 1$ et l'angle d'action rotationnel prédéterminé $\theta 3$, selon lequel le mobile d'échappement 101 tourne lors d'un mouvement alterné du balancier-spiral 30, est plus grand que 50%, mais plus petit que 75%, comme représenté sur les fig. 27 et 28.

[0222] De manière spécifique, la rotation du mobile d'échappement 101 est contrôlée de telle sorte que le ratio entre le premier angle d'action rotationnel $\theta 1$ et l'angle d'action rotationnel prédéterminé $\theta 3$, selon lequel le mobile d'échappement 101 tourne lors d'un mouvement alterné du balancier-spiral 30, est d'environ 66.7%.

[0223] Le contrôle de la rotation du mobile d'échappement 101 est décrit en détail dans ce qui suit.

[0224] Dans le fonctionnement décrit ci-dessus, le mobile d'échappement 101 tourne d'une quantité correspondant à un secteur angulaire correspondant à l'espacement entre deux dents consécutives lors d'un mouvement alterné du balancier-spiral 30. L'angle d'action rotationnel prédéterminé $\theta 3$, selon lequel le mobile d'échappement 101 tourne lors d'un mouvement alterné du balancier-spiral 30, est par conséquent de 45 degrés, comme représenté sur les fig. 27 et 28.

[0225] Le mobile d'échappement 101 tourne durant la période correspondant à la transition entre l'état représenté sur la fig. 20 (état dans lequel la première surface de travail 111 a de la première dent d'échappement 111 est en prise avec une surface d'engagement 72a de palette d'entrée 72) à l'état représenté sur la fig. 23 (état dans lequel la deuxième surface de travail 121a de deuxième dent d'échappement 121 est en prise avec la surface d'engagement 73a de la palette de sortie 73) lorsque le balancier-spiral 30 tourne dans le premier sens de rotation M1. Le couple est transmis directement au balancier-spiral 30 durant cette période.

[0226] L'angle selon lequel le mobile d'échappement 101 tourne en passant de l'état représenté sur la fig. 20 – matérialisé par une ligne pointillée longue suivie d'une double ligne pointillée courte – à l'état représenté sur la fig. 23, dessiné en trait plein, correspond au premier angle d'action rotationnel $\theta 1$, représenté sur la fig. 27, et est de 30 degrés selon le présent mode de réalisation.

[0227] Le mobile d'échappement 101 continue à tourner pendant la période correspondant à la transition entre l'état représenté sur la fig. 24 (état dans lequel la deuxième surface de travail 121a de la deuxième dent d'échappement 121 est en prise avec la surface d'engagement 73a de palette de sortie 73) à l'état représenté sur la fig. 26 (état dans lequel la première surface de travail 111a de première dent d'échappement 111 est en prise avec la surface d'engagement 72a de palette d'entrée 72) alors que le balancier-spiral 30 tourne dans le deuxième sens de rotation M2. Le couple est transmis indirectement au balancier-spiral 30 durant cette période.

[0228] L'angle selon lequel le mobile d'échappement 101 tourne en passant de l'état représenté sur la fig. 24, matérialisé par la ligne pointillée longue suivie d'une double ligne pointillée courte, à l'état représenté sur la fig. 26, dessiné en trait plein, correspond au deuxième angle d'action rotationnel $\theta 2$, représenté sur la fig. 28, et est de 15 degrés dans le présent mode de réalisation.

[0229] Par conséquent, également dans le présent mode de réalisation, le ratio entre le premier angle d'action rotationnel $\theta 1$ (30 degrés) et l'angle d'action rotationnel prédéterminé $\theta 3$ (45 degrés), selon lequel le mobile d'échappement 101 tourne lors d'un mouvement alterné du balancier-spiral 30, est fixé à environ 66.7%. L'échappement 100 selon le présent mode de réalisation peut par conséquent aussi présenter les mêmes particularités de fonctionnement que ceux fournis par l'échappement 13 selon le premier mode de réalisation.

[0230] Par ailleurs, dans l'échappement 100 selon le présent mode de réalisation, la première roue d'échappement 110 peut être disposée de telle sorte que les premières dents d'échappement 111 peuvent chacune être mises en contact avec la palette de contact 50, et la deuxième roue d'échappement 120 peut être disposée de telle sorte que les deuxièmes dents d'échappement 121 peuvent chacune être mises en contact avec la palette de sortie 73. Puisque la palette de sortie 73 peut ainsi être conçue, par exemple, sans être affectée par la position en hauteur de la palette de contact 50, une augmentation de la longueur de la palette de sortie 73 vers le haut ou vers le bas peut être évitée, et la flexibilité en termes de conception peut être améliorée en conséquence. Le poids de la palette de sortie 73 peut par conséquent être réduit, et par suite le moment d'inertie de l'ancre 71 peut être réduit également. L'efficacité de transmission du couple peut par conséquent être encore améliorée davantage pour la transmission indirecte de couple au balancier-spiral 30 via l'ancre 71.

[0231] En outre, la première roue d'échappement 110 et la deuxième roue d'échappement 120 peuvent être conçues séparément l'une de l'autre. Par exemple, les premières dents d'échappement 111 et les deuxièmes dents d'échappement 121 peuvent donc prendre différentes formes adaptées pour chacune d'elles, la première roue d'échappement 110 et la deuxième roue d'échappement 120 peuvent être formées de telle sorte qu'elles ont différents diamètres, ou n'importe quels autres types de design optimal conduisant à encore d'autres améliorations en termes d'efficacité de transmission de couple peuvent être facilement réalisées.

(Troisième mode de réalisation)

[0232] Dans ce qui suit, on décrira un troisième mode de réalisation selon l'invention en se référant aux dessins. Dans ce troisième mode de réalisation, les mêmes composants que ceux du premier mode de réalisation portent les mêmes numéros de référence et ne seront pas décrits.

[0233] Alors que l'élément de contrôle 70 comprend une ancre 71 dans le premier mode de réalisation, l'élément de contrôle 70 comprend, dans le troisième mode de réalisation, une unité d'ancre formée d'une pluralité d'ancres.

[0234] Par ailleurs, alors que le grand collet 36 et le petit collet 37 sont intégrés l'un avec l'autre dans le double plateau 35, et la cheville d'impulsion 40 et la palette de contact 50 sont fixées au grand collet 36 dans le premier mode de réalisation, dans le troisième mode de réalisation, le double plateau comprend un grand collet et un petit collet formés séparément l'un de l'autre, la cheville d'impulsion est fixée au grand collet, et une première palette de contact est fixée au petit collet.

[0235] L'échappement 130 comprend un double plateau 140 fixé à l'arbre de balancier 31, une première palette de contact 150 agencée sur le balancier-spiral 30, un mobile d'échappement 160, qui tourne en utilisant l'énergie transmise depuis le ressort moteur du barillet, et l'élément de contrôle 70, qui fait tourner et arrête le mobile d'échappement 160 sur la base de la rotation du balancier-spiral 30, comme représenté sur les fig. 29 à 31.

[0236] Le présent mode de réalisation sera décrit en se référant à un cas où le mobile d'échappement 160 tourne dans le sens contraire des aiguilles d'une montre autour de la première ligne axiale O1 selon une vue en plan du mouvement 10

vu depuis l'avant. Par ailleurs, selon le présent mode de réalisation, en correspondance avec la direction dans laquelle le mobile d'échappement 160 tourne, la direction dans laquelle le balancier-spiral 30 tourne dans le sens des aiguilles d'une montre autour de la deuxième ligne axiale O2 est appelée le premier sens de rotation M1, et la direction dans laquelle le balancier-spiral 30 tourne dans le sens contraire des aiguilles d'une montre est appelée le deuxième sens de rotation M2.

(Double plateau)

[0237] Le double plateau 140 est pourvu d'un grand collet 141 et d'un petit collet 142, qui sont des composants formés séparément l'un de l'autre. Le grand collet 141 possède une forme de disque ayant un trou d'insertion qui n'est pas représenté, qui est agencé au niveau d'une partie centrale du grand collet 141, et au travers duquel l'arbre de balancier 31 est inséré, et le grand collet 141 est disposé coaxialement par rapport à la deuxième ligne axiale O2 et sous la roue de balancier 32. Un trou traversant 143 pour fixer la cheville d'impulsion 40 est formé dans une portion du grand collet 141 qui est la portion située radialement à l'extérieur du corps principal du petit collet 142b, qui sera décrite plus loin. La cheville d'impulsion 40 est fixée dans le trou traversant 143, par exemple, via un chassage.

[0238] La cheville d'impulsion 40 est formée de manière à s'étendre vers le bas au-delà du grand collet 141, mais en étant située au-dessus du corps principal du petit collet 142b.

[0239] La partie en forme de croissant de lune 43, qui présente un renfoncement vers l'intérieur dans la direction radiale de manière à former une surface recourbée, est agencée au niveau d'une portion du bord circonférentiel externe du grand collet 141 qui est la portion située à l'extérieur de la cheville d'impulsion 40 dans la direction radiale. Une pluralité d'ajourements est formée dans le grand collet 141 afin de conférer une réduction de poids.

[0240] Des portions plus fines ou d'autres portions peuvent être formées à la place des ajourements, et des portions plus fines ou d'autres portions peuvent être ajoutées par ailleurs en plus des ajourements.

[0241] Le petit collet 142 possède une forme à plusieurs étages disposée coaxialement par rapport à la deuxième ligne axiale O2, et est disposé en-dessous du grand collet 141. De manière spécifique, le petit collet 142 est configuré pour prendre une forme à plusieurs étages incluant une portion d'insertion, qui n'est pas représentée, mais est la partie la plus haute, une collerette 142a, qui est disposée en-dessous de la portion d'insertion et possède un diamètre plus grand que celui de la portion d'insertion, une partie de liaison qui n'est pas représentée mais est disposée en-dessous de la collerette 142a et possède un diamètre plus petit que la collerette 142a, et le corps principal du petit collet 142b, qui est disposé en-dessous de la partie de liaison et possède un diamètre plus grand que celui de la partie de liaison et de la collerette 142a.

[0242] Le petit collet 142 possède en outre un trou d'insertion qui n'est pas représenté mais passe à travers tout le petit collet 142 dans la direction allant de bas en haut. Le petit collet 142 est ajusté extérieurement sur l'arbre de balancier 31 et fixée à ce dernier, tandis que l'arbre de balancier 31 est inséré dans le trou d'insertion. Le petit collet 142 est donc intégralement solidaire de l'arbre de balancier 31.

[0243] En outre, le petit collet 142 est configuré de telle sorte que la partie d'insertion est insérée depuis le dessous dans le trou d'insertion formé dans le grand collet 141, et inséré dans le trou d'insertion alors que la collerette 142a est en contact avec le côté inférieur du grand collet 141 et combiné avec l'arbre de balancier 31. Le grand collet 141 est donc intégralement solidaire du petit collet 142, et est en outre intégralement solidaire de l'arbre de balancier 31 via le petit collet 142.

[0244] Le grand collet 141 et le petit collet 142, qui sont formés de façon séparée l'un par rapport à l'autre, sont par conséquent les deux intégralement solidaires de l'arbre de balancier 31. En outre, une fente 144, qui divise le corps principal de petit collet 142b selon un diamètre, est agencée dans le corps principal de petit collet 142b. La fente 144 ne prend pas nécessairement la forme décrite ci-dessus. Par exemple, la fente 144 peut être formée selon un «U» qui s'ouvre vers l'extérieur dans la direction radiale, comme selon le premier mode de réalisation. La première palette de contact 150 est ensuite fixée dans la fente 144.

(Première palette de contact)

[0245] La première palette de contact 150 est une palette configurée pour être amenée en contact avec des dents d'échappement 161 du mobile d'échappement 160, et transmettre le couple transmis au mobile d'échappement 160 au balancier-spiral 30. Les dents d'échappement 161 seront décrites plus loin.

[0246] La première palette de contact 150 est insérée radialement par l'extérieur dans la fente 144 formée dans le corps principal du petit collet 142b et fixée à l'intérieur de celle-ci, par exemple, à l'aide d'un adhésif. La première palette de contact 150 est constituée d'une pierre précieuse artificielle, par exemple en rubis, comme la cheville d'impulsion 40. La première palette de contact 150 possède une forme de plaque rectangulaire s'étendant dans la direction radiale du corps principal du petit collet 142b et possède une extrémité avant qui fait saillie vers l'extérieur dans la direction radiale au-delà du bord circonférentiel externe du corps principal du petit collet 142b.

[0247] La surface latérale de la première palette de contact 150 qui est la surface latérale la plus en aval selon le deuxième sens de rotation M2 est une surface plate s'étendant radialement pour former une première surface de contact 151, avec laquelle une surface de travail 161a de chacune des dents d'échappement 161, qui seront décrites plus loin, peut être

amenée en contact. En outre, l'extrémité avant de la première palette de contact 150 possède une surface inclinée 152 située en aval de la première surface de contact 151 en se déplaçant selon le premier sens de rotation M1.

[0248] Puisque la première palette de contact 150 est fixée au corps principal du petit collet 142b, qui est situé en-dessous de la cheville d'impulsion 40, tout contact entre la première palette de contact 150 et l'unité d'ancre 170, qui sera décrite plus loin, est évité.

[0249] Lorsque le balancier-spiral 30 tourne, la première palette de contact 150 fixée au balancier-spiral 30 via le double plateau 140, comme décrit ci-dessus, répète un mouvement d'incursion à l'intérieur de la trajectoire rotationnelle R de la roue d'échappement 162, qui sera décrite plus loin, puis de rétractation en dehors de cette trajectoire. La surface de travail 161a de chacune des dents d'échappement 161 de la roue d'échappement 162 est par conséquent autorisée à venir en contact (en collision) avec la première surface de contact 151 de la première palette de contact 150.

[0250] Le contact entre la surface de travail 161a de l'une des dents d'échappement 161 et la première surface de contact 151 de la première palette de contact 150 permet une transmission de l'énergie du mobile d'échappement 160 vers la première palette de contact 150.

(Mobile d'échappement)

[0251] Le mobile d'échappement 160 comprend l'arbre d'échappement 62, autour duquel le pignon d'échappement 61, qui vient en prise avec le deuxième mobile 23, est formé, et la roue d'échappement 162, qui est intégralement fixée à l'arbre d'échappement 62, par exemple, via un chassage, et qui possède une pluralité de dents d'échappement 161.

[0252] Le présent mode de réalisation est décrit en se référant à un cas où le nombre de dents d'échappement 161 est de 8, comme dans le premier mode de réalisation; un tel nombre n'est toutefois absolument pas indispensable, et ce nombre de dents d'échappement 161 peut être ajusté de manière appropriée selon les besoins.

[0253] Par ailleurs, selon le présent mode de réalisation, l'enveloppe de rotation de la roue d'échappement R, qui est dessinée par la pointe de chacune des dents d'échappement 161 lorsque le mobile d'échappement 160 tourne, est simplement appelée la trajectoire rotationnelle R de la roue d'échappement 162.

[0254] La roue d'échappement 162 est constituée, par exemple, d'un matériau métallique ou d'un matériau ayant une orientation cristalline, tel que du monocristal de silicium. Des exemples d'un procédé de fabrication de la roue d'échappement 162 peut inclure l'électroformage, un procédé LIGA, qui adopte une approche optique, telle qu'une technologie de photolithographie, DRIE, et un moulage par injection de poudre métallique (MIM). Le procédé de fabrication n'est toutefois limité à aucun des procédés décrits ci-dessus, et la roue d'échappement 162 pourrait également être formée en utilisant un autre procédé de fabrication.

[0255] La roue d'échappement 162 inclut un moyeu annulaire 164, qui possède un trou d'insertion qui n'est pas représenté mais est agencé dans une partie centrale du moyeu 164, et est solidarisée à l'arbre d'échappement 62 via le trou d'insertion, par exemple, via un chassage, et huit rayons 165, qui s'étendent vers l'extérieur depuis le moyeu 164 dans la direction radiale et sont agencés à intervalles réguliers dans la direction circonférentielle, et le moyeu 164 et les rayons 165 sont mutuellement intégrés l'un à l'autre sur la roue d'échappement 162.

[0256] Les rayons 165 possèdent une forme conique effilée vers l'extérieur au fur et à mesure que l'on s'éloigne du centre dans la direction radiale, et l'extrémité avant de chacun des rayons 165 possède une forme légèrement recourbée dans le sens contraire des aiguilles d'une montre M4, avec un degré de courbure augmentant également au fur et à mesure que l'on s'éloigne vers l'extérieur dans la direction radiale. Les extrémités avant recourbées agissent en tant que dents d'échappement 161.

[0257] La surface latérale de chacune des dents d'échappement 161 qui est la surface latérale située le plus en aval dans le sens contraire des aiguilles d'une montre M4 forme la surface de travail 161 a, qui vient en contact avec la première palette de contact 150 et une deuxième palette de contact 200, qui sera décrite plus tard, et vient en prise avec une première palette d'arrêt (première palette selon l'invention) 210 et une deuxième palette d'arrêt (deuxième palette selon l'invention) 220, qui seront décrites plus loin.

[0258] Les rayons 165 possèdent chacun un apurement 166 de forme triangulaire selon une vue en plan. Le poids du mobile d'échappement 160 est réduit principalement par les apurements 166, mais ceci n'est pas absolument indispensable, et d'autres apurements pourraient être formés par ailleurs et des portions plus fines ou d'autres portions peuvent être prévues dans la mesure où les apurements supplémentaires ou les portions plus fines n'affectent pas la performance, la rigidité, ou d'autres facteurs du mobile d'échappement 160.

[0259] Le mobile d'échappement 160 configuré comme décrit ci-dessus est responsable de la transmission directe du couple qui lui a été transmis au balancier-spiral 30 lorsque le balancier-spiral 30 tourne dans le premier sens de rotation M1, et de la transmission indirecte du couple qui a été transmis au balancier-spiral 30 via l'élément de contrôle 70 lorsque le balancier-spiral 30 tourne dans le deuxième sens de rotation M2. Le mobile d'échappement 160 est disposé dans une position en hauteur alignée sur celle du corps principal du petit collet 142 et de la première palette de contact 150.

(Élément de contrôle)

[0260] L'élément de contrôle 70 comprend une unité d'ancre 170, qui est formée d'une pluralité d'ancres 180 et 190, et pivote sur la base de la rotation du balancier-spiral 30. Il contrôle la rotation du mobile d'échappement 160, c'est-à-dire, contrôle le démarrage et l'arrêt de la rotation du mobile d'échappement 160.

[0261] L'unité d'ancre 170 selon le présent mode de réalisation comprend une première ancre 180 et une deuxième ancre 190. La première ancre 180 et la deuxième ancre 190 sont liées l'une à l'autre de manière à pouvoir se déplacer l'une par rapport à l'autre, et sont reliées en série l'un derrière l'autre selon la même ligne. L'unité d'ancre 170 est ensuite déplacée sur la base de la rotation alternée du balancier-spiral 30 de manière à provoquer un pivotement de la première ancre 180 et un pivotement de la deuxième ancre 190 séparément l'un de l'autre.

[0262] L'unité d'ancre 170 comprend par ailleurs la deuxième palette de contact 200, qui est configurée pour pouvoir être amenée en contact avec les dents d'échappement 161, ainsi que la première palette d'arrêt 210 et la deuxième palette d'arrêt 220, qui sont configurées pour pouvoir venir s'engager avec les dents d'échappement 161 et s'en libérer.

[0263] La deuxième palette de contact 200 est une palette agencée pour transmettre le couple qui a été transmis au mobile d'échappement 160 au balancier-spiral 3 via l'unité d'ancre 170, et est fixée à la première ancre 180.

[0264] La première palette d'arrêt 210 et la deuxième palette d'arrêt 220 sont chacune une palette destinée à arrêter le mobile d'échappement 160, puis libérer le mobile d'échappement 160 lorsqu'il est arrêté et sont chacune fixées à la deuxième ancre 190.

[0265] Dans ce qui suit, la première ancre 180 sera décrite en détail.

[0266] La première ancre 180 comprend un premier arbre d'ancre 181, qui est un axe de pivotement, et un corps de première ancre 182; elle pivote autour d'une quatrième ligne d'axe 04 sur la base de la rotation alternée du balancier-spiral 30.

[0267] Le premier arbre d'ancre 181 est disposé de manière coaxiale par rapport à la quatrième ligne axiale O4. Un pivot supérieur 181a et un pivot inférieur 181b, qui sont chacun coniques, sont formées aux extrémités axialement opposées du premier arbre d'ancre 181. Le premier arbre d'ancre 181 est supporté dans l'espace situé entre la platine 11 et le pont d'ancre qui n'est pas représenté via le pivot supérieur 181a et le pivot inférieur 181b.

[0268] Une collerette 181c, qui est plus large que le premier arbre d'ancre 181 en termes de diamètre, est formée d'un seul tenant avec une partie centrale du premier arbre d'ancre 181 vis-à-vis de l'axe de rotation. Le corps de première ancre 182 est intégralement fixé au premier arbre d'ancre 181, par exemple, via un chassage avec le corps de la première ancre 182 placé sur la collerette 181c.

[0269] Le corps de première ancre 182 possède une forme de plaque réalisée, par exemple, en utilisant l'électroformage ou une technologie MEMS et est disposé entre le grand collet 141 et le petit collet 142. Autrement dit, le corps de la première ancre 182 est disposé au-dessus du mobile d'échappement 160. Le corps de la première ancre 182 peut être muni, selon les besoins, d'un apurement, d'une portion plus fine, ou d'une autre portion afin de conférer une réduction de poids, comme dans le cas du mobile d'échappement 160. Dans l'exemple représenté sur les fig. 29, 30 et 31, plusieurs ajourements sont formés dans le corps de la première ancre 182.

[0270] Le corps de la première ancre 182 inclut un premier bras d'ancre 183, qui est formé de manière à s'étendre en direction du balancier-spiral 30 en partant de la partie à laquelle le premier arbre d'ancre 181 est fixé, un deuxième bras d'ancre 184, qui est formé de manière à s'étendre depuis la partie à laquelle le premier arbre d'ancre 181 est fixé vers la deuxième ancre 190, et un troisième bras d'ancre 185, qui est formé de manière à s'étendre depuis la partie à laquelle le premier arbre d'ancre 181 est fixé vers le mobile d'échappement 160, et est situé entre le premier bras d'ancre 183 et le deuxième bras d'ancre 184.

[0271] L'extrémité avant du premier bras d'ancre 183 est munie d'une paire de cornes 80 disposées côte à côte selon la direction circonférentielle autour de la quatrième ligne axiale O4. L'intérieur des cornes 80 s'ouvre vers l'arbre de balancier 31 et forme la fourchette 81, qui reçoit la cheville d'impulsion 40, laquelle se déplace quand le balancier-spiral 30 effectue sa rotation alternée. Lors de cette rotation alternée, la cheville d'impulsion 40 peut venir s'engager dans la fourchette 81, puis s'en dégager ensuite.

[0272] En outre, le dard 82 est fixé à l'extrémité avant du premier bras d'ancre 183.

[0273] Le dard 82 est inséré dans l'extrémité avant du premier bras d'ancre 183, selon le présent mode de réalisation, depuis le dessus, par exemple, via un chassage de manière à être intégralement fixé au premier bras d'ancre 183, mais ceci n'est pas absolument nécessaire. Par exemple, le dard 82 pourrait au contraire être fixé à l'extrémité avant du premier bras d'ancre 183, par exemple, en utilisant un adhésif ou un calfeutrage.

[0274] Le dard 82 est fixé dans une position décalée par rapport à la fourchette 81 en direction du premier arbre d'ancre 181 selon une vue en plan, et fixé de manière à être aligné en hauteur par rapport au grand collet 141.

[0275] Dans l'état où la cheville d'impulsion 40 est dégagée et éloignée de la fourchette 81, l'extrémité avant du dard 82 fait face, selon la direction radiale et via un léger espacement, à une partie de la surface circonférentielle externe du grand collet 141, qui est la partie complémentaire à celle en forme de croissant de lune 43, c'est-à-dire formant tout le reste du

pourtour, tandis que dans l'état où la cheville d'impulsion 40 est en prise avec la fourchette 81, l'extrémité avant du dard 82 est située dans la partie en forme de croissant de lune 43.

[0276] Lorsque la cheville d'impulsion 40 s'est dégagée de la fourchette 81 et éloignée de celle-ci, l'extrémité avant du dard 82 fait face à la surface circonférentielle externe du grand collet 141 avec un léger espacement entre eux, ce qui permet à l'extrémité avant du dard 82 de venir en contact en premier lieu et en priorité avec la surface circonférentielle externe du grand collet 141 même, par exemple, au cas où une perturbation a lieu durant la libre oscillation du balancier-spiral 30 et que l'unité d'ancre 170, alors arrêtée, est libérée en raison de la perturbation. Un déplacement de l'unité d'ancre 170 en raison d'une perturbation peut par conséquent être évité, puisque toute libération de l'unité d'ancre arrêtée 170 peut être évitée. L'unité d'ancre 170 sera décrite plus loin en détail dans son état arrêté.

[0277] Une fourche d'engagement à deux branches 186, qui bifurque selon la direction circonférentielle autour de la quatrième ligne axiale O4, est formée au niveau de l'extrémité avant du deuxième bras d'ancre 184. Une fente 187 pour fixer la deuxième palette de contact 200 est formée au niveau de l'extrémité avant du troisième bras d'ancre 185. La fente 187 est agencée de manière à passer à travers le troisième bras d'ancre 185 selon la direction allant du haut vers le bas, et s'ouvre vers le mobile d'échappement 160.

[0278] La deuxième palette de contact 200 est formée par une pierre précieuse artificielle constituée, par exemple, de rubis, comme la première palette de contact 150, et fixée dans la fente 187, par exemple, via un chassage, ou collée et fixée dans celle-ci, par exemple, à l'aide d'un adhésif. La deuxième palette de contact 200 possède une forme de plaque rectangulaire s'étendant le long de la fente 187, et est fixée de manière à faire saillie depuis le troisième bras d'ancre 185 vers le mobile d'échappement 160. En outre, la deuxième palette de contact 200 est formée de manière à s'étendre vers le bas au-delà du troisième bras d'ancre 185, et est fixée de manière à être alignée en hauteur avec le mobile d'échappement 160.

[0279] La surface latérale de l'extrémité avant de la deuxième palette de contact 200 qui est la surface latérale située le plus en aval dans le sens des aiguilles d'une montre M3, qui est opposé au sens selon lequel le mobile d'échappement 160 tourne, est une surface plate le long de la fente 187 et forme une deuxième surface de contact 201, avec laquelle la surface de travail 161 a de chacune des dents d'échappement 161 est autorisée à venir en contact (en collision). L'extrémité avant de la deuxième palette de contact 200 possède en outre une deuxième surface inclinée 202 située plus en aval dans le sens contraire des aiguilles d'une montre M4, qui est le sens selon lequel le mobile d'échappement 160 tourne.

[0280] La première ancre 180 configurée comme décrit ci-dessus tourne sur la base de la rotation du balancier-spiral 30, comme décrit ci-dessus.

[0281] Spécifiquement, la cheville d'impulsion 40, qui se déplace alors que le balancier-spiral 30 effectue sa rotation alternée, provoque le pivotement de la première ancre 180 autour de la quatrième ligne axiale O4 dans le sens opposé à celui dans lequel le balancier-spiral 30 tourne. Dans ce processus, la deuxième palette de contact 200 répète une incursion à l'intérieur de la trajectoire rotationnelle R de la roue d'échappement 162, puis une rétractation en dehors de celle-ci en réponse au mouvement de pivotement de la première ancre 180. La surface de travail 161a de chacune des dents d'échappement 161 de la roue d'échappement 162 est donc autorisée à venir en prise (en collision) avec la deuxième surface de contact 201 de la deuxième palette de contact 200. Lorsque la surface de travail 161a de l'une des dents d'échappement 161 vient en contact avec la deuxième surface de contact 201 de la deuxième palette de contact 200, l'énergie est transmise depuis le mobile d'échappement 160 à la deuxième palette de contact 200.

[0282] Le sens selon lequel le balancier-spiral 30 tourne est opposé à celui dans lequel la première ancre 180 pivote. Par conséquent, lorsque la surface de travail 161a de l'une des dents d'échappement 161 vient en contact avec la première palette de contact 150, la deuxième palette de contact 200 se comporte de manière à pénétrer à l'intérieur de la trajectoire rotationnelle R de la roue d'échappement 162, alors qu'au moment où la surface de travail 161a de l'une des dents d'échappement 161 vient en contact avec la deuxième palette de contact 200, la première palette de contact 150 se comporte de manière à se rétracter en dehors de la trajectoire rotationnelle R de la roue d'échappement 162.

[0283] Dans ce qui suit, on décrira la deuxième ancre 190 en détail.

[0284] La deuxième ancre 190 est disposée du côté aval dans le sens des aiguilles d'une montre M3, qui est opposé à celui dans lequel le mobile d'échappement 160 tourne; elle comprend un deuxième arbre d'ancre 191, qui est un axe pour le mouvement de pivotement, et un corps de deuxième ancre 192. La deuxième ancre 190 pivote sur la base de la rotation de la première ancre 180 autour d'une cinquième ligne axiale O5 dans le sens opposé à celui dans lequel la première ancre 180 pivote.

[0285] Le deuxième arbre d'ancre 191 est disposé de manière coaxiale par rapport à la cinquième ligne axiale O5. Un pivot supérieur 191a et un pivot inférieur 191 b, qui sont chacun coniques, sont formés aux extrémités axialement opposées du deuxième arbre d'ancre 191. Le deuxième arbre d'ancre 191 est supporté dans l'espace entre la platine 11 et le pont d'ancre – qui n'est pas représenté – via le pivot supérieur 191a et le pivot inférieur 191b.

[0286] Une collerette 191c, qui est plus grande que le deuxième arbre d'ancre 191 en termes de diamètre, est formée d'une seule pièce avec la partie centrale axiale du deuxième arbre d'ancre 191. Le corps de la deuxième ancre 192 est intégralement fixé au deuxième arbre d'ancre 191, par exemple, via un chassage du corps de la deuxième ancre 192 placé sur la collerette 191c.

[0287] Le corps de la deuxième ancre 192 possède une forme de plaque réalisée en utilisant, par exemple, l'électroformage ou une technologie MEMS et est situé en-dessous du corps de la première ancre 182. Autrement dit, le corps de la deuxième ancre 192 est disposé de manière à être aligné en hauteur avec le mobile d'échappement 160. Le corps de deuxième ancre 192 peut être muni, selon les besoins, d'un ajourement, d'une portion plus fine, ou de n'importe quelle autre portion en vue d'obtenir une réduction de poids, tout comme le mobile d'échappement 160. Dans l'exemple illustré sur les fig. 29, 30 et 31, plusieurs ajourements sont formés dans le corps de la deuxième ancre 192.

[0288] Le corps de la deuxième ancre 192 comprend un quatrième bras d'ancre 193, qui est formé de manière à s'étendre depuis la partie à laquelle le deuxième arbre d'ancre 191 est fixé vers le corps de la première ancre 182, et une cinquième bras d'ancre 194, qui est formé de manière à s'étendre depuis la partie à laquelle le deuxième arbre d'ancre 191 est fixé vers le quatrième bras d'ancre 193.

[0289] Une goupille d'engagement 195, qui s'étend vers le haut, est fixée à l'extrémité avant du quatrième bras d'ancre 193, par exemple, via un chassage. La goupille d'engagement 195 possède une forme, par exemple, cylindrique pleine, et l'extrémité supérieure de la goupille d'engagement 195 pénètre à l'intérieur de la fourche d'engagement 186 de la première ancre 180.

[0290] Puisque la goupille d'engagement 195 pénètre à l'intérieur de la fourche d'engagement 186, la surface circonférentielle externe de la goupille d'engagement 195 et la surface interne de la fourche d'engagement 186 viennent en prise de manière coulissante l'une par rapport à l'autre. La première ancre 180 et la deuxième ancre 190 sont reliées l'une à l'autre de manière à pouvoir se déplacer l'une par rapport à l'autre et peuvent pivoter dans des sens opposés.

[0291] Une fente 196 pour la fixation de la première palette d'arrêt 210 est agencée au niveau d'une partie du quatrième bras d'ancre 193 qui est la partie entre le deuxième arbre d'ancre 191 et la goupille d'engagement 195. La fente 196 est formée de manière à traverser le quatrième bras d'ancre 193 selon la direction allant de haut en bas et s'ouvre vers le mobile d'échappement 160.

[0292] La première palette d'arrêt 210 est formée par une pierre précieuse artificielle constituée, par exemple, de rubis, comme la première palette de contact 150 et la deuxième palette de contact 200, et fixée dans la fente 196, par exemple, via un chassage, ou collée et fixée dans celle-ci, par exemple, avec un adhésif. La première palette d'arrêt 210 possède une forme de plaque rectangulaire s'étendant le long de la fente 196, et est fixée de manière à faire saillie depuis le quatrième bras d'ancre 193 vers le mobile d'échappement 160.

[0293] La surface latérale de la partie saillante de la première palette d'arrêt 210 qui est la surface latérale située en aval dans le sens des aiguilles d'une montre M3, qui est opposé au sens dans lequel le mobile d'échappement 160 tourne, forme une première surface d'engagement 210a, avec laquelle la surface de travail 161 a de chacune des dents d'échappement 161 de la roue d'échappement 162 vient en prise. La première palette d'arrêt 210 fonctionne comme palette d'entrée 72.

[0294] La première palette d'arrêt 210 est fixée dans la fente 196 de telle sorte que la première une surface d'engagement 210a ayant un angle d'incidence de tirage prédéterminé puisse venir en prise avec la surface de travail 161 a de chacune des dents d'échappement 161, comme la palette d'entrée 72 dans le premier mode de réalisation.

[0295] Une fente 197 pour la fixation de la deuxième palette d'arrêt 220 est agencée sur le cinquième bras d'ancre 194. La fente 197 est formée de manière à traverser le cinquième bras d'ancre 194 dans la direction allant de haut en bas et s'ouvre vers le mobile d'échappement 160.

[0296] La deuxième palette d'arrêt 220 est formée par une pierre précieuse artificielle constituée, par exemple, de rubis, comme la première palette d'arrêt 210, et est fixée dans la fente 197, par exemple, via un chassage, ou collée et fixée dans celle-ci, par exemple, avec un adhésif. La deuxième palette d'arrêt 220 possède une forme de plaque rectangulaire s'étendant le long de la fente 197, et est fixée de manière à faire saillie depuis le cinquième bras d'ancre 194 vers le mobile d'échappement 160.

[0297] La surface latérale de la partie saillante de la deuxième palette d'arrêt 220 qui est la surface latérale située le plus en avant en allant dans le sens des aiguilles d'une montre M3, qui est opposé à celui dans lequel le mobile d'échappement 160 tourne, forme une deuxième surface d'engagement 220a, avec laquelle la surface de travail 161a de chacune des dents d'échappement 161 de la roue d'échappement 162 vient en prise. La deuxième palette d'arrêt 220 fonctionne comme palette de sortie 73.

[0298] La deuxième palette d'arrêt 220 est fixée dans la fente 197 de manière à ce que la deuxième surface d'engagement 220a ayant un angle d'incidence de tirage prédéterminé se mette en prise avec la surface de travail 161a de chacune des dents d'échappement 161, comme la palette de sortie 73 dans le premier mode de réalisation.

[0299] La deuxième ancre 190 configurée comme décrit ci-dessus pivote autour la cinquième ligne axiale O5 sur la base du mouvement de pivotement de la première ancre 180, qui pivote lui-même sur la base de la rotation alternée du balancier-spiral 30, comme décrit ci-dessus. Dans ce processus, la première palette d'arrêt 210 et la deuxième palette supérieure 220 répètent de manière alternée une incursion à l'intérieur de la trajectoire rotationnelle R de la roue d'échappement 162, puis une rétractation en dehors de celle-ci en réponse au mouvement de pivotement de la deuxième ancre 190. La surface de travail 161 a de chacune des dents d'échappement 161 de la roue d'échappement 162 est donc autorisée à

venir en prise avec la première surface d'engagement 210a de la première palette d'arrêt 210 ou la deuxième surface d'engagement 220a de la deuxième palette d'arrêt 220.

[0300] En particulier, puisque la première palette d'arrêt 210 et la deuxième palette d'arrêt 220 sont disposées de manière à prendre en sandwich la cinquième ligne axiale O5, lorsque la première palette d'arrêt 210 vient en prise avec la roue d'échappement 162, la deuxième palette d'arrêt 220 s'en éloigne, alors qu'au contraire, lorsque la première palette d'arrêt 210 s'éloigne de la roue d'échappement 162, la deuxième palette d'arrêt 220 vient en prise avec elle.

[0301] L'unité d'ancre 170 est configurée de manière à ce que la première ancre 180 et la deuxième ancre 190 sont reliées l'une à l'autre en série et de manière à être disposées sur la même ligne, et la première ancre 180 et la deuxième ancre 190 sont déplacées sur la base de la rotation alternée du balancier-spiral 30 de manière à pivoter séparément l'une de l'autre. Autrement dit, la première ancre 180 pivote dans le sens opposé à celui dans lequel le balancier-spiral 30 tourne, et la deuxième ancre 190 pivote dans le sens opposé à celui dans lequel la première ancre 180 pivote.

[0302] Plus spécifiquement, lorsque le balancier-spiral 30 tourne dans le premier sens de rotation M1, et après que l'engagement entre l'une des dents d'échappement 161 et la première palette d'arrêt 210 est libéré, et qu'une autre dent d'échappement 161 vienne en contact avec la première palette de contact 150, une autre dent d'échappement 161 vient en prise avec la deuxième palette d'arrêt 220. Lorsque le balancier-spiral 30 tourne dans le deuxième sens de rotation M2, et après que l'engagement entre l'une des dents d'échappement 161 et la deuxième palette d'arrêt 220 est libéré, et qu'une autre dent d'échappement 161 est venue en contact avec la deuxième palette d'arrêt 220, une autre dent d'échappement 161 vient en prise avec la première palette d'arrêt 210. Ce point sera décrit plus loin en détail.

[0303] Dans le présent mode de réalisation, lorsque la première palette d'arrêt 210 et la deuxième palette d'arrêt 220 viennent en prise avec la roue d'échappement 162 du mobile d'échappement 160, une goupille de limitation 230 est utilisée pour restreindre n'importe quel déplacement de l'unité d'ancre 170 afin de positionner l'unité d'ancre 170.

[0304] La première goupille de limitation 230 est disposée du côté opposé du mobile d'échappement 60 par rapport au premier bras d'ancre 183, et est fixée à la platine 11, par exemple, de sorte à faire saillie vers le haut depuis la platine 11. La première goupille de limitation 230 est disposée de façon à être alignée en hauteur avec le corps de première ancre 182.

[0305] Lorsque la première palette d'arrêt 210 vient en prise avec la roue d'échappement 162 du mobile d'échappement 160, la surface latérale externe du premier bras d'ancre 183 qui est la surface latérale externe 183a située du côté opposé à la surface latérale externe faisant face au mobile d'échappement 160 vient en contact avec la goupille de limitation 230.

[0306] Un levier de restriction 240, qui s'étend depuis la partie à laquelle le premier arbre d'ancre 181 est fixé dans la direction s'éloignant du deuxième bras d'ancre 184, est formé en tant que partie du corps de première ancre 182. Lorsque la deuxième palette d'arrêt 220 vient en prise avec la roue d'échappement 162 du mobile d'échappement 160, le levier de restriction 240 est amené en contact avec la goupille de limitation 230.

(Fonctionnement de l'échappement)

[0307] L'échappement 130 selon le présent mode de réalisation, configuré comme décrit ci-dessus, peut aussi présenter les mêmes particularités de fonctionnement que ceux réalisés dans le cadre du premier mode de réalisation. Le fonctionnement de l'échappement 130 selon le présent mode de réalisation sera décrit brièvement ci-dessous.

[0308] Dans un état de début de fonctionnement, la première surface de travail 111a de n'importe quelle dent d'échappement 161 vient en prise avec la surface d'engagement 210a de la première palette d'arrêt 210, et la surface latérale externe 183a du premier bras d'ancre 183 est en contact avec la goupille de limitation 230 pour positionner toute l'unité d'ancre 170, comme représenté sur la fig. 31. La rotation du mobile d'échappement 160 est par conséquent arrêtée. Par ailleurs, l'oscillation libre du balancier-spiral 30 a déplacé la cheville d'impulsion 40 dans le premier sens de rotation M1, et la cheville d'impulsion 40 a pénétré dans la fourchette 81. La première palette de contact 150 s'est rétractée en dehors de la trajectoire rotationnelle R de la roue d'échappement 162.

[0309] Le fonctionnement de l'échappement 130 en réponse à la rotation alternée du balancier-spiral 30 sera décrit de manière séquentielle en partant de cet état de début de fonctionnement ci-dessus.

[0310] Lorsque le balancier-spiral 30 continue de tourner dans le premier sens de rotation M1 depuis l'état représenté sur la fig. 31 sur la base de l'énergie rotative (énergie) accumulée dans le spiral, la cheville d'impulsion 40 agit en compression sur la surface interne de la fourchette 81 dans le premier sens de rotation M1. L'énergie du spiral est donc transmise à la première ancre 180 via la cheville d'impulsion 40.

[0311] Lorsque la cheville d'impulsion 40 vient en prise avec la fourchette 81, la partie en forme de croissant de lune 43 formée dans le grand collet 141 empêche le grand collet 141 et le dard 82 d'être amenés en contact l'un avec l'autre. L'énergie du balancier-spiral 30 peut par conséquent être efficacement transmise à la première ancre 180.

[0312] Par conséquent, toute l'unité d'ancre 170 se déplace de manière à ce que la première ancre 180 et la deuxième ancre 190 pivotent chacune, comme représenté sur la fig. 32. C'est-à-dire, la première ancre 180 pivote dans le sens contraire des aiguilles d'une montre autour de la quatrième ligne axiale O4, tandis que la deuxième ancre 190 pivote dans le sens des aiguilles d'une montre autour de la cinquième ligne axiale O5.

[0313] Le mouvement de pivotement de la première ancre 180 provoque la séparation de la surface latérale externe 183a du premier bras d'ancre 183 vis-à-vis de la goupille de limitation 230. Par ailleurs, le mouvement de pivotement de la deuxième ancre 190 déplace la première palette d'arrêt 210 dans une direction d'éloignement de la roue d'échappement 162 (direction dans laquelle la première palette d'arrêt 210 se rétracte en dehors de la trajectoire rotationnelle R de roue d'échappement 162).

[0314] Le mouvement de la première palette d'arrêt 210 vers une position légèrement à l'extérieur de la trajectoire rotationnelle R de la roue d'échappement 162 incite la première palette d'arrêt 210 à s'éloigner de la dent d'échappement 161, et permet à l'engagement entre la première palette d'arrêt 210 et la dent d'échappement 161 d'être libéré. Le mobile d'échappement 160, qui était arrêté, peut donc être libéré.

[0315] Lorsque le mobile d'échappement 160 reprend sa rotation dans le sens contraire des aiguilles d'une montre M4, la première surface de travail 161 a d'une autre dent d'échappement 161 vient en contact (en collision) avec la première surface de contact 151 de la première palette de contact 150 qui a pénétré à l'intérieur de la trajectoire rotationnelle R de la roue d'échappement 162 alors que le balancier-spiral 30 tourne dans le premier sens de rotation M1, comme représenté sur la fig. 33.

[0316] Le couple transmis au mobile d'échappement 160 peut donc être transmis directement au balancier-spiral 30 via la première palette de contact 150 et le double plateau 140, permettant un réapprovisionnement en couple du balancier-spiral 30.

[0317] Lorsque n'importe laquelle des dents d'échappement 161 vient en contact avec la première palette de contact 150 comme décrit ci-dessus, la dent d'échappement 161 tourne dans le sens contraire des aiguilles d'une montre M4 tout en glissant le long de la première surface de contact 151, et la première palette de contact 150 se déplace graduellement dans une direction s'éloignant de la roue d'échappement 162 (direction dans laquelle la première palette de contact 150 se rétracte en dehors de la trajectoire rotationnelle R de la roue d'échappement 162) alors que le balancier-spiral 30 tourne. En outre, lorsque la rotation du balancier-spiral 30 déplace la première palette de contact 150 dans une direction d'éloignement de la roue d'échappement 162, le mouvement de pivotement de la deuxième ancre 190 provoque l'incursion de la deuxième palette d'arrêt 220 à l'intérieur de la trajectoire rotationnelle R de la roue d'échappement 162.

[0318] Ensuite, lorsque la première palette de contact 150 se déplace vers une position située à l'extérieur de la trajectoire rotationnelle R de la roue d'échappement 162, la surface de travail 161a d'une autre dent d'échappement 161 vient en contact avec la deuxième surface d'engagement 220a de la deuxième palette d'arrêt 220 qui a pénétré à l'intérieur de la trajectoire rotationnelle R de la roue d'échappement 162, comme représenté sur la fig. 34.

[0319] Lors du contact initial, le levier de restriction 240 se déplace vers la goupille de limitation 230 tandis que la première ancre 180 n'est pas en contact avec la goupille de limitation 230. La première ancre 180 et la deuxième ancre 190 pivotent par conséquent légèrement alors que la dent d'échappement 161 reste en contact avec la deuxième palette d'arrêt 220. Ensuite, lorsque le levier de restriction 240 arrive en contact avec la goupille de limitation 230, la première ancre 180 et la deuxième ancre 190 ne pivotent plus et restent positionnées ainsi. La dent d'échappement 161 se met par conséquent en prise avec la deuxième palette d'arrêt 220. La rotation du mobile d'échappement 160 est par conséquent arrêtée, et toute l'unité d'ancre 170 est ainsi arrêtée. La fig. 34 montre l'état dans lequel le levier de restriction 240 est en contact avec la goupille de limitation 230.

[0320] A ce moment-là, la transmission directe de couple au balancier-spiral 30 se termine.

[0321] Juste après, la cheville d'impulsion 40 s'éloigne de l'intérieur de la fourchette 81 et se sépare de l'unité d'ancre 170 tandis que le balancier-spiral 30 tourne dans le premier sens de rotation M1. Par la suite, l'inertie du balancier-spiral 30 lui permet de continuer à tourner dans le premier sens de rotation M1, et l'énergie en rotation du balancier-spiral 30 est accumulée dans le spiral. Ensuite, lorsque toute l'énergie en rotation est accumulée dans le spiral, le balancier-spiral 30 s'arrête de tourner dans le premier sens de rotation M1, maintient une position stationnaire pendant un moment, et commence à tourner dans le deuxième sens de rotation M2, qui est opposé au premier sens de rotation M1, sur la base de l'énergie rotative accumulée dans le spiral.

[0322] La cheville d'impulsion 40 commence donc à se déplacer à nouveau vers l'unité d'ancre 170, ou à s'approcher de celle-ci, alors que le balancier-spiral 30 tourne dans le deuxième sens de rotation M2.

[0323] Ensuite, lorsque la cheville d'impulsion 40 pénètre dans la fourchette 81 de l'unité d'ancre 170, la cheville d'impulsion 40 agir en compression sur la surface interne de la fourchette 81 dans le deuxième sens de rotation M2, comme représenté sur la fig. 35. L'énergie du spiral est donc transmise à la première ancre 180 via la cheville d'impulsion 40.

[0324] Par conséquent, toute l'unité d'ancre 170 se déplace de telle sorte que la première ancre 180 et la deuxième ancre 190 pivotent chacune, comme représenté sur la fig. 36. C'est-à-dire, la première ancre 180 pivote dans le sens des aiguilles d'une montre autour de la quatrième ligne axiale O4, tandis que la deuxième ancre 190 pivote dans le sens contraire des aiguilles d'une montre autour de la cinquième ligne axiale O5.

[0325] Le mouvement de pivotement de la première ancre 180 provoque la séparation du levier de restriction 240 vis-à-vis de la goupille de limitation 230. Par ailleurs, le mouvement de pivotement de la deuxième ancre 190 déplace la deuxième

palette d'arrêt 220 dans une direction d'éloignement de la roue d'échappement 162 (direction selon laquelle la deuxième palette d'arrêt 220 se rétracte en dehors de la trajectoire rotationnelle R de la roue d'échappement 162).

[0326] Le mouvement de la deuxième surface d'engagement 220a de la deuxième palette d'arrêt 220 vers une position située légèrement à l'extérieur de la trajectoire rotationnelle R de la roue d'échappement 162 permet à l'engagement entre la deuxième surface d'engagement 220a et la dent d'échappement 161 d'être libérée. Le mobile d'échappement 160, qui était arrêté, peut donc être libéré.

[0327] Lorsque le mobile d'échappement 160 redémarre sa rotation dans le sens contraire des aiguilles d'une montre M4, la première surface de travail 161a d'une autre dent d'échappement 161 vient en contact (en collision) avec la deuxième surface de contact 201 de la deuxième palette de contact 200, qui a pénétré à l'intérieur de la trajectoire rotationnelle R de la roue d'échappement 162 alors que la première ancre 180 pivote, comme représenté sur la fig. 37.

[0328] Le couple transmis au mobile d'échappement 160 peut donc être transmis indirectement au balancier-spiral 30 via la deuxième palette de contact 200 et la première ancre 180, permettant un réapprovisionnement en couple du balancier-spiral 30.

[0329] Lorsque l'une des dents d'échappement 161 vient en contact avec la deuxième palette de contact 200 comme décrit ci-dessus, la dent d'échappement 161 tourne dans le sens contraire des aiguilles d'une montre M4 tout en glissant le long de la deuxième surface de contact 201, et la deuxième palette de contact 200 se déplace graduellement dans une direction d'éloignement par rapport à la roue d'échappement 162 (c'est-à-dire une direction selon laquelle la deuxième palette de contact 200 se rétracte en dehors de la trajectoire rotationnelle R de la roue d'échappement 162) alors que la première ancre 180 pivote. En outre, lorsque le mouvement de pivotement de la première ancre 180 déplace la deuxième palette de contact 200 dans la direction d'éloignement de la roue d'échappement 162, le mouvement de pivotement de la deuxième ancre 190 provoque l'incursion de la première palette d'arrêt 210 à l'intérieur de la trajectoire rotationnelle R de la roue d'échappement 162.

[0330] Ensuite, lorsque la deuxième palette de contact 200 se déplace vers une position située à l'extérieur de la trajectoire rotationnelle R de la roue d'échappement 162, la surface de travail 161a d'une autre dent d'échappement 161 vient en contact avec la première surface d'engagement 210a de la première palette d'arrêt 210 ayant pénétré à l'intérieur de la trajectoire rotationnelle R de la roue d'échappement 162, comme représenté sur la fig. 38.

[0331] Lors du contact initial, la première ancre 180 se déplace vers la goupille de limitation 230 tandis qu'elle pivote dans le sens des aiguilles d'une montre, mais elle n'est pas en contact avec la goupille de limitation 230. La première ancre 180 et la deuxième ancre 190 pivotent par conséquent légèrement alors que la dent d'échappement 161 reste en contact avec la première palette d'arrêt 210. Ensuite, lorsque la surface latérale externe 183a de la première ancre 180 arrive en contact avec la goupille de limitation 230, la première ancre 180 et la deuxième ancre 190 ne pivotent plus et restent positionnées ainsi. La dent d'échappement 161 se met par conséquent en prise avec la première palette d'arrêt 210. La rotation du mobile d'échappement 160 est par conséquent arrêtée, et ainsi toute l'unité d'ancre 170 est arrêtée. La fig. 38 montre l'état dans lequel la surface latérale externe 183a de la première ancre 180 est en contact avec la goupille de limitation 230.

[0332] A ce moment-là, la transmission indirecte de couple au balancier-spiral 30 se termine.

[0333] Comme décrit ci-dessus, l'échappement 130 selon le présent mode de réalisation effectue également alternativement une transmission directe de couple et une transmission indirecte de couple lors d'un mouvement alterné du balancier-spiral 30 afin de transmettre le couple transmis au mobile d'échappement 160 au balancier-spiral 30 et réapprovisionner le balancier-spiral 30 en couple.

[0334] Par ailleurs, également dans le présent mode de réalisation, la rotation du mobile d'échappement 160 est contrôlée de manière à ce que le ratio entre le premier angle d'action rotationnel $\theta 1$ et l'angle d'action rotationnel prédéterminé $\theta 3$, selon lequel le mobile d'échappement 160 tourne suite à un mouvement alterné de va-et-vient du balancier-spiral 30, soit plus grand que 50% mais plus petit que 75%, comme représenté sur les fig. 39 et 40.

[0335] Spécifiquement, la rotation du mobile d'échappement 160 est contrôlée de manière à ce que le ratio entre le premier angle d'action rotationnel $\theta 1$ et l'angle d'action rotationnel prédéterminé $\theta 3$, selon lequel le mobile d'échappement 160 tourne suite à un mouvement alterné du balancier-spiral 30, est d'environ 55.6%.

[0336] Le contrôle de la rotation du mobile d'échappement 160 est décrit en détail dans ce qui suit.

[0337] Dans le fonctionnement décrit ci-dessus, le mobile d'échappement 160 tourne d'une quantité correspondant à une dent lors d'un mouvement alterné de va-et-vient du balancier-spiral 30. L'angle d'action rotationnel prédéterminé $\theta 3$, selon lequel le mobile d'échappement 160 tourne lors d'un mouvement alterné du balancier-spiral 30, est par conséquent de 45 degrés, comme représenté sur les fig. 39 et 40.

[0338] Le mobile d'échappement 160 tourne durant la période correspondant à la transition entre l'état représenté sur la fig. 31 (état dans lequel la surface de travail 161a d'une dent d'échappement 161 est en prise avec la première surface d'engagement 210a de la première palette d'arrêt 210) et l'état représenté sur la fig. 34 (état dans lequel la surface de travail 161a de la dent d'échappement 161 est en prise avec la deuxième surface d'engagement 220a de la deuxième palette d'arrêt 220) alors que le balancier-spiral 30 tourne dans le premier sens de rotation M1. Le couple est alors transmis directement au balancier-spiral 30 durant cette période.

[0339] L'angle selon lequel le mobile d'échappement 160 tourne depuis l'état représenté sur la fig. 31, matérialisé par une ligne pointillée longue suivie d'une double ligne pointillée courte à l'état représenté sur la fig. 34, dessiné en trait plein, correspond au premier angle d'action rotationnel θ1, représenté sur la fig. 39, et est de 25 degrés selon le présent mode de réalisation.

[0340] Le mobile d'échappement 160 continue de tourner durant la période allant de l'état représenté sur la fig. 35 (état dans lequel la surface de travail 161a d'une dent d'échappement 161 vient en prise avec la deuxième surface d'engagement 220a de la deuxième palette d'arrêt 220) à l'état représenté sur la fig. 38 (état dans lequel la surface de travail 161 a d'une dent d'échappement 161 vient en prise avec la première surface d'engagement 210a de la première palette d'arrêt 210) alors que le balancier-spiral 30 tourne dans le deuxième sens de rotation M2. Le couple est transmis indirectement au balancier-spiral 30 durant cette période.

[0341] L'angle selon lequel le mobile d'échappement 160 tourne de l'état représenté sur la fig. 35, matérialisé par une ligne pointillée longue suivie d'une double ligne pointillée courte à l'état représenté sur la fig. 38, dessiné en trait plein, correspond au deuxième angle d'action rotationnel θ2, représenté sur la fig. 40, et est de 20 degrés selon le présent mode de réalisation.

[0342] Par conséquent, également dans le présent mode de réalisation, le ratio entre le premier angle d'action rotationnel θ1 (25 degrés) et l'angle d'action rotationnel prédéterminé θ3 (45 degrés), par lequel le mobile d'échappement 160 tourne lors d'un mouvement alterné du balancier-spiral 30, est fixé à environ 55.6%. L'échappement 130 selon le présent mode de réalisation peut par conséquent présenter les mêmes particularités de fonctionnement que ceux fournis par l'échappement 13 selon le premier mode de réalisation.

[0343] En outre, dans l'échappement 130 selon le présent mode de réalisation, la première ancre 180 comprend la première palette de contact 150, et la deuxième ancre 190 comprend la première palette d'arrêt 210 et la deuxième palette d'arrêt 220. La position de la première ancre 180 par rapport au mobile d'échappement 160 et la position de la deuxième ancre 190 par rapport au mobile d'échappement 160 peut par conséquent être aménagée librement et effectuée sous peu de contraintes, la première ancre 180 et la deuxième ancre 190 pouvant être agencées dans une disposition optimale à la fois pour l'impact et l'arrêt. Un design optimal conduisant à davantage d'amélioration en termes d'efficacité de transmission de couple est par conséquent aisément réalisé.

[0344] Dans le troisième mode de réalisation décrit ci-dessus, l'unité d'ancre 170 est formée de deux ancres (première ancre 180 et deuxième ancre 190), ceci n'est pas absolument nécessaire, et elle pourrait être formée de trois ancres ou plus.

[0345] Dans ce qui précède, on a décrit des modes de réalisation de l'invention qui sont donnés à titre d'exemple, mais ne sont pas destinés à limiter la portée de l'invention. Les modes de réalisation pourraient être mis en œuvre selon une variété d'autres formes, en supprimant, remplaçant ou changeant certaines caractéristiques dans la mesure où ces suppressions, remplacements, ou changements ne s'écartent pas de la substance de l'invention. Les modes de réalisation et leurs variations comprennent, par exemple, des variantes qu'un homme du métier pourrait facilement concevoir, des variantes substantiellement identiques à l'un des modes de réalisation et ses variantes, et des formes équivalentes à celles-ci.

[0346] Les modes de réalisation ci-dessus ont été décrits, par exemple, en se référant à une configuration dans laquelle l'énergie produite par le spiral logé dans le barillet de mouvement est transmise au mobile d'échappement à titre d'exemple, mais ceci n'est pas indispensable pour la réalisation de l'invention. Par exemple, un ressort moteur prévu dans un composant autre que le barillet de mouvement pourrait transmettre de l'énergie au mobile d'échappement.

[0347] Dans chacun des modes de réalisation décrits ci-dessus, un mouvement remonté manuellement, dans lequel une couronne est utilisée pour remonter manuellement le ressort moteur, est donné à titre d'exemple, mais ceci n'est pas nécessaire non plus pour la réalisation de l'invention. Par exemple, un mouvement à remontage automatique comprenant une masse oscillante pourrait également être utilisé.

[0348] Les modes de réalisation ci-dessus ont été décrits, par exemple, en se référant au cas où les palettes sont chacune formées par une pierre précieuse artificielle constituée, par exemple, de rubis, mais ceci n'est pas nécessaire non plus pour la réalisation de l'invention. Par exemple, les palettes pourraient chacune être réalisées, par exemple, en un autre matériau fragile ou en un matériau métallique, tel qu'un alliage à base de fer. Dans tous les cas, le matériau, la forme, et d'autres facteurs de chacune des palettes peuvent être ajustés de manière appropriée selon les besoins aussi longtemps que les fonctionnalités susmentionnées des palettes sont réalisées.

[0349] Dans chacun des modes de réalisation décrits ci-dessus, le positionnement relatif entre les composants dans le sens de l'épaisseur de la pièce d'horlogerie peut être modifié de manière appropriée dans la mesure où l'action d'échappement est réalisée. Par exemple, selon une vue longitudinale en coupe, le positionnement relatif entre le grand col, le petit col, la roue d'échappement, l'ancre (incluant un corps d'ancre, une unité d'ancre, et semblable), et d'autres composants peuvent être modifiés selon les besoins, de sorte qu'ils soient permutés l'un avec l'autre, et les directions dans lesquelles le dard, les palettes (telles que la palette d'entrée et la palette de sortie), la goupille d'engagement, et d'autres composants étendus peuvent être modifiés de façon correspondante en fonction des relations positionnelles modifiées.

[0350] En outre, les premier et deuxième modes de réalisation ont été décrits en se référant au cas où le grand collet et le petit collet sont intégralement formés dans le double plateau, mais ceci n'est pas nécessaire non plus. Par exemple, dans le premier et le deuxième modes de réalisation, un petit collet ayant une partie en forme de croissant de lune et un grand collet incluant une palette de contact et une cheville d'impulsion peuvent être configurés pour former des composants séparés l'un de l'autre et être combinés sur un double plateau, et la partie en forme de croissant de lune du petit collet peut être aménagée en tant que partie de l'arbre de balancier. Dans tous les cas, un double plateau spécifique n'est pas nécessairement employé, et n'importe quelle variété d'autres doubles plateaux peut être employée dans chacun des modes de réalisation.

[0351] Dans chacun des modes de réalisation décrits ci-dessus, la goupille de limitation peut, par exemple, constituer en un certain type de goupille de limitation; par exemple, ce qui est appelé une goupille pleine agencée en tant que partie intégrante du pont d'ancre. En outre, l'ancre peut, par exemple, être formée d'un corps d'ancre, d'une palette, d'un dard, et d'autres composants intégrés les uns aux autres via un processus de fabrication MEMS, tel que LIGA et DRIE, ou un processus MIM. En outre, dans chacun des modes de réalisation décrits ci-dessus, des étagements, tels que les deuxièmes dents d'échappement dans le deuxième mode de réalisation, peuvent être réalisés, par exemple, au niveau de l'extrémité avant de la roue d'échappement.

[0352] En outre, le premier mode de réalisation a été décrit en se référant à une configuration de train d'engrenage typique (rouage avant), par exemple, et la configuration du rouage peut être changée de manière appropriée conformément à la demande de brevet et d'autres facteurs de la pièce d'horlogerie. Par exemple, une configuration de train d'engrenage dans lequel une roue intermédiaire d'échappement est disposée entre le deuxième mobile et le mobile d'échappement peut être employée. Dans tous les cas, l'invention de la présente demande de brevet est applicable sans être affectée par la configuration de train d'engrenage.

[0353] Les modes de réalisation ci-dessus ont chacun été décrits en se référant au cas où le mobile d'échappement possède huit dents d'échappement. Le nombre de dents n'est, cependant, pas limité à huit et peut être ajusté selon les besoins.

[0354] On pourra cependant noter que plus le nombre de dents d'échappement est grand, plus l'angle entre les dents d'échappement adjacentes l'une à l'autre est petit dans la direction circonférentielle. Inversement, moins le nombre de dents d'échappement est élevé, plus l'angle entre les dents d'échappement adjacentes l'une à l'autre est grand dans la direction circonférentielle. La diminution du nombre de dents d'échappement permet par conséquent une augmentation de chaque premier angle d'action rotationnel $\theta 1$, par lequel le mobile d'échappement tourne dans le cadre de la transmission directe de couple au balancier-spiral, et le deuxième angle d'action rotationnel $\theta 2$, par lequel le mobile d'échappement tourne dans le cadre la transmission indirecte de couple au balancier-spiral. La diminution du nombre de dents d'échappement par conséquent permet une augmentation en efficacité de transmission de couple.

[0355] Par exemple, en considérant un cas où la quantité de couple transmis au balancier-spiral est de 1 lorsque le nombre de dents d'échappement est de 15, et une diminution du nombre de dents d'échappement de 10 augmente la quantité de couple transmise par un facteur * d'environ 1.2 à 1.3, et une diminution du nombre de dents d'échappement à 8 augmente la quantité de couple transmis par un facteur d'environ 1.4.

[0356] Comme décrit ci-dessus, il est préférable de diminuer le nombre de dents d'échappement parce que l'efficacité de transmission du couple au balancier-spiral peut être encore augmentée davantage. Par exemple, dans un cas où le ratio entre le premier angle d'action rotationnel $\theta 1$ et l'angle d'action rotationnel prédéterminé $\theta 3$, par lequel le mobile d'échappement tourne lors d'un mouvement alterné du balancier-spiral est fixé (environ 66.7%, par exemple); diminuer le nombre de dents d'échappement permet une augmentation de l'angle d'action rotationnel prédéterminé $\theta 3$ et du premier angle d'action rotationnel $\theta 1$, permettant une amélioration additionnelle en termes d'efficacité de transmission de couple.

[0357] Il est par conséquent préférable de diminuer le nombre de dents d'échappement en vue de réaliser une haute efficacité de transmission de couple, et le mobile d'échappement a seulement besoin d'avoir au moins deux dents d'échappement selon l'invention.

[0358] Cependant, une diminution du nombre de dents d'échappement provoque, par exemple, une tendance à augmenter la taille de l'ancre, et il est en conséquence difficile de disposer l'échappement ayant une taille plus grande sur la platine, et la quantité de perte de transmission d'énergie augmente de manière non désirée en raison d'une augmentation du moment d'inertie de l'ancre. Par conséquent, pour concevoir une ancre compacte et ne pas inciter l'ancre à pivoter selon une grande amplitude, il est préférable d'assurer un certain nombre de dents d'échappement. Il est idéal de régler le nombre de dents d'échappement à 8 dans chacun des modes de réalisation décrits ci-dessus du point de vue d'une réalisation d'un échappement qui ne permet pas seulement une disposition convenable de l'ancre mais un fonctionnement stable afin de réduire les pertes de transmission d'énergie.

[0359] En outre, dans les premier et deuxième modes de réalisation décrits ci-dessus, la rotation du mobile d'échappement est contrôlée de telle sorte que le ratio entre le premier angle d'action rotationnel $\theta 1$ et l'angle d'action rotationnel prédéterminé $\theta 3$, selon lequel le mobile d'échappement tourne dans un mouvement alternatif du balancier-spiral, est d'environ 66.7%, et dans le troisième mode de réalisation décrit ci-dessus, la rotation du mobile d'échappement est contrôlée de manière à ce que le ratio entre le premier angle d'action rotationnel $\theta 1$ et l'angle d'action rotationnel

prédéterminé θ3 est d'environ 55.6%, mais ceci n'est pas nécessaire, et ce ratio pourrait être changé de manière appropriée selon les besoins.

[0360] L'augmentation du ratio décrit ci-dessus permet à la proportion de couple transmis directement depuis le mobile d'échappement au balancier-spiral d'être plus grand que la proportion de couple transmis indirectement depuis le mobile d'échappement au balancier-spiral, conférant de préférence une haute efficacité de transmission de couple.

[0361] Par exemple, dans le premier mode de réalisation, en considérant un cas où la quantité de couple transmise au balancier-spiral est de i lorsque le ratio entre le premier angle d'action rotationnel θ1 et l'angle d'action rotationnel prédéterminé θ3 est d'environ 66.7%, une augmentation du ratio décrite ci-dessus à environ 73.3% (par exemple, un angle d'action rotationnel prédéterminé θ3 fixé à 45 degrés, et un premier angle d'action rotationnel θ1 fixé à 33 degrés) augmente la quantité de couple transmis d'un facteur d'environ 1.1, comme représenté sur la fig. 42. En outre, en augmentant le ratio décrit ci-dessus à environ 80.0% (par exemple, via un angle d'action rotationnel prédéterminé θ3 de 45 degrés, et un premier angle d'action rotationnel θ1 de 36 degrés), on augmente la quantité de couple transmis d'un facteur d'environ 1.2.

[0362] Il est par conséquent préférable d'augmenter le ratio décrit ci-dessus en vue d'augmenter l'efficacité de transmission de couple.

[0363] Cependant, d'un autre côté, une augmentation du ratio décrite ci-dessus génère une tendance à avoir une trop grande différence angulaire entre le premier angle d'action rotationnel θ1 et le deuxième angle d'action rotationnel θ2. Dans ce cas, par exemple, la palette de sortie et la deuxième palette de contact de l'ancre, les dents d'échappement, et d'autres composants sont agencés dans un espace étroit pour réaliser l'impact indirect dans chacun des modes de réalisation décrits ci-dessus. Il est par conséquent difficile d'assurer un fonctionnement stable de l'échappement parce qu'un dégagement suffisant entre les composants décrits ci-dessus ne peut pas être réalisé.

[0364] Par conséquent, du point de vue de la réalisation d'un échappement fiable qui maintient une excellente efficacité en termes de transmission de couple, permet un bon fonctionnement de l'ancre, et présente des performances de fonctionnement stable, le ratio entre le premier angle d'action rotationnel θ1 et l'angle d'action rotationnel prédéterminé θ3 est de préférence supérieur à 50% mais inférieur à 75%.

[0365] En outre, le ratio entre le premier angle d'action rotationnel θ1 et l'angle d'action rotationnel prédéterminé θ3 est de manière encore plus préférée supérieur à 50% mais inférieur à 56%, comme dans le troisième mode de réalisation décrit ci-dessus.

[0366] Dans ce cas, une grande différence angulaire entre le premier angle d'action rotationnel θ1 et le deuxième angle d'action rotationnel θ2 peut être évitée, et grâce à cela, l'angle de mouvement d'aiguille peut être sensiblement uniforme. Dans ce cas, par exemple, l'angle d'action rotationnel prédéterminé θ3 peut être fixé à 45 degrés, et le premier angle d'action rotationnel θ1 peut être fixé à 25 degrés.

[0367] Dans l'échappement selon l'invention, cependant, le premier angle d'action rotationnel θ1 et le deuxième angle d'action rotationnel θ2 ont seulement besoin de différer l'un de l'autre (angles d'action rotationnels non uniformes). Parmi d'autres conditions, il est en outre préférable d'utiliser la condition que le premier angle d'action rotationnel θ1 est plus grand que le deuxième angle d'action rotationnel θ2.

Patentansprüche

1. Echappement comprenant:
   un mobile d'échappement (60) qui tourne autour d'une première ligne axiale (O1) en utilisant une énergie de transmission; et
   un élément de contrôle (70) qui fait tourner et arrête le mobile d'échappement (60) sur la base de la rotation d'un balancier-spiral (30), qui effectue une rotation alternée autour d'une deuxième ligne axiale (02) selon un premier sens de rotation (M1) et un deuxième sens de rotation (M2) opposés l'un par rapport à l'autre,
   le mobile d'échappement (60) transmettant directement l'énergie transmise au balancier-spiral (30) lorsque le balancier-spiral (30) tourne dans le premier sens de rotation (M1) et transmettant indirectement l'énergie transmise au balancier-spiral (30) via l'élément de contrôle (70) lorsque le balancier-spiral (30) tourne dans le deuxième sens de rotation (M2), et
   l'élément de contrôle (70) contrôlant la rotation du mobile d'échappement (60) de telle manière qu'un premier angle d'action rotationnel (θ1) parcouru dans le cadre de la transmission directe de l'énergie du mobile d'échappement (60) au balancier-spiral (30) diffère d'un deuxième angle d'action rotationnel (θ2) parcouru dans le cadre de la transmission indirecte de l'énergie du mobile d'échappement (60) au balancier-spiral (30).
2. Echappement selon la revendication 1,
   dans lequel l'élément de contrôle (70) contrôle la rotation du mobile d'échappement (60) de telle manière que le premier angle d'action rotationnel (θ1) est plus grand que le deuxième angle d'action rotationnel (θ2).
3. Echappement selon la revendication 1 ou 2,
   dans lequel le balancier-spiral (30) est équipé d'une palette de contact configurée pour être amenée en contact avec des dents d'échappement (63) du mobile d'échappement (60),

l'élément de contrôle (70) comprenant une ancre (71) qui inclut une première palette et une deuxième palette configurées pour être mises en prise avec des dents d'échappement (63) et libérées de ces derniers, et qui pivote sur la base de la rotation du balancier-spiral (30), et
lorsque le balancier-spiral (30) tourne dans le premier sens de rotation (M1), l'engagement entre n'importe laquelle des dents d'échappement (63) et la première palette est libérée, et après qu'une autre dent d'échappement (63) vient en contact avec la palette de contact, une autre dent d'échappement (63) peut venir se mettre en prise avec la deuxième palette, et
lorsque le balancier-spiral (30) tourne dans le deuxième sens de rotation (M2), l'engagement entre n'importe laquelle des dents d'échappement (63) et la deuxième palette est libéré, et après que la dent d'échappement (63) glisse le long d'une surface de glissement formée sur la deuxième palette et se déplace par rapport à cette dernière, une autre des dents d'échappement (63) peut venir se mettre en prise avec la première palette.

4. Echappement selon la revendication 3,
le mobile d'échappement (60) possédant une structure à deux couches comprenant
une première roue d'échappement (110) possédant des premières dents d'échappement formant les dents d'échappement, et
une deuxième roue d'échappement (120) qui est agencée de façon superposée sur la première roue d'échappement (110) selon la direction axiale de la première ligne axiale (O1), et possède des deuxièmes dents d'échappement formant les dents d'échappement,
au moins la palette de contact étant configurée pour pouvoir être amenée en contact avec les premières dents d'échappement, et
au moins la deuxième palette étant configurée pour pouvoir être mise en prise avec les deuxièmes dents d'échappement et libérée de ces dernières.

5. Echappement selon la revendication 1 ou 2,
dans lequel le balancier-spiral (30) est équipé d'une première palette de contact configurée de manière à pouvoir être amenée en contact avec des dents d'échappement (63) du mobile d'échappement (60),
l'élément de contrôle (70) comprend une unité d'ancre (170) qui est formée d'une pluralité d'ancres et pivote sur la base de la rotation du balancier-spiral (30),
l'unité d'ancre (170) comprend une deuxième palette de contact configurée de manière à pouvoir être amenée en contact avec les dents d'échappement (63), et une première palette et une deuxième palette configurées de manière à pouvoir être mises en prise avec les dents d'échappement (63) et libérées de ces dernières,
lorsque le balancier-spiral (30) tourne dans le premier sens de rotation (M1), l'engagement entre l'une des dents d'échappement (63) et la première palette est libéré, et après qu'une autre dent d'échappement (63) vient en contact avec la première palette de contact, une autre dent d'échappement (63) se met en prise avec la deuxième palette, et lorsque le balancier-spiral (30) tourne dans le deuxième sens de rotation (M2), l'engagement entre l'une des dents d'échappement (63) et la deuxième palette est libérée, et après qu'une autre des dents d'échappement (63) vient en contact avec la deuxième palette de contact, une autre des dents d'échappement (63) se met en prise avec la première palette.

6. Echappement selon l'une des revendications 2 à 5,
dans lequel l'élément de contrôle (70) contrôle la rotation du mobile d'échappement (60) de telle manière que le ratio entre le premier angle d'action rotationnel ($\theta 1$) et l'angle d'action rotationnel prédéterminé ($\theta 3$) selon lequel le mobile d'échappement (60) tourne lors d'un mouvement alterné du balancier-spiral (30) est plus grand que 50% mais plus petit que 75%.

7. Echappement selon la revendication 6,
dans lequel l'élément de contrôle (70) contrôle la rotation du mobile d'échappement (60) de telle manière que le ratio entre le premier angle d'action (01) rotationnel et l'angle d'action rotationnel prédéterminé ($\theta 3$) est supérieur à 50%, mais inférieur à 56%.

8. Echappement selon l'une des revendications 1 à 7,
dans lequel le nombre de dents d'échappement (63) du mobile d'échappement (60) est au moins égal à deux.

9. Echappement selon l'une des revendications 1 à 8,
dans lequel les dents d'échappement (63) du mobile d'échappement (60) sont au nombre de huit.

10. Mouvement de pièce d'horlogerie (10) comprenant:
l'échappement (13, 100, 130) selon l'une des revendications 1 à 9;
un régulateur (14) incluant le balancier-spiral (30); et
un train d'engrenage (12) qui transmet l'énergie au mobile d'échappement (60).

11. Pièce d'horlogerie (1) comprenant:
le mouvement de pièce d'horlogerie (10) selon la revendication 10; et
une aiguille d'affichage qui tourne à une vitesse de rotation ajustée par l'échappement (13) et le régulateur (14).

FIG. 1

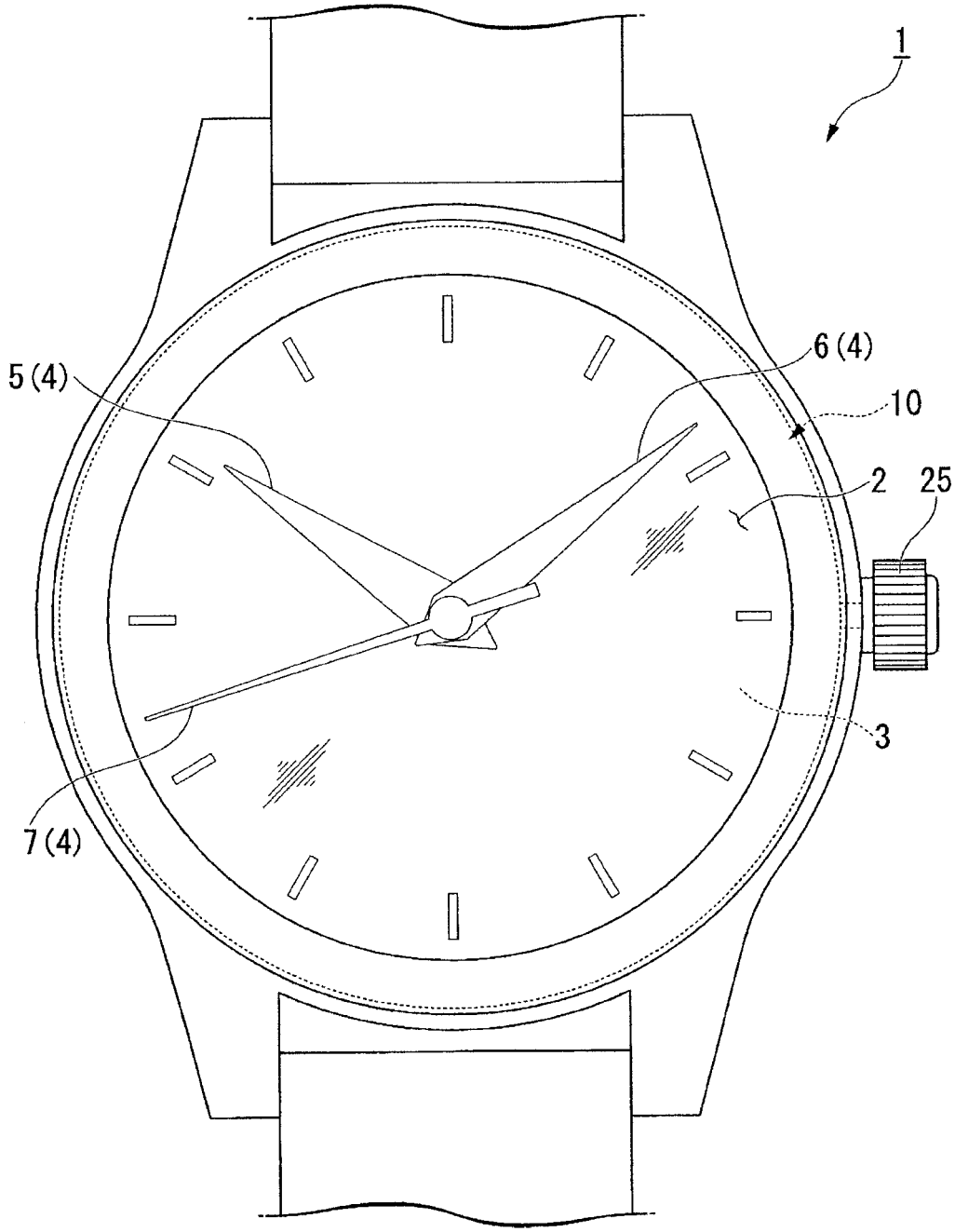


FIG. 2

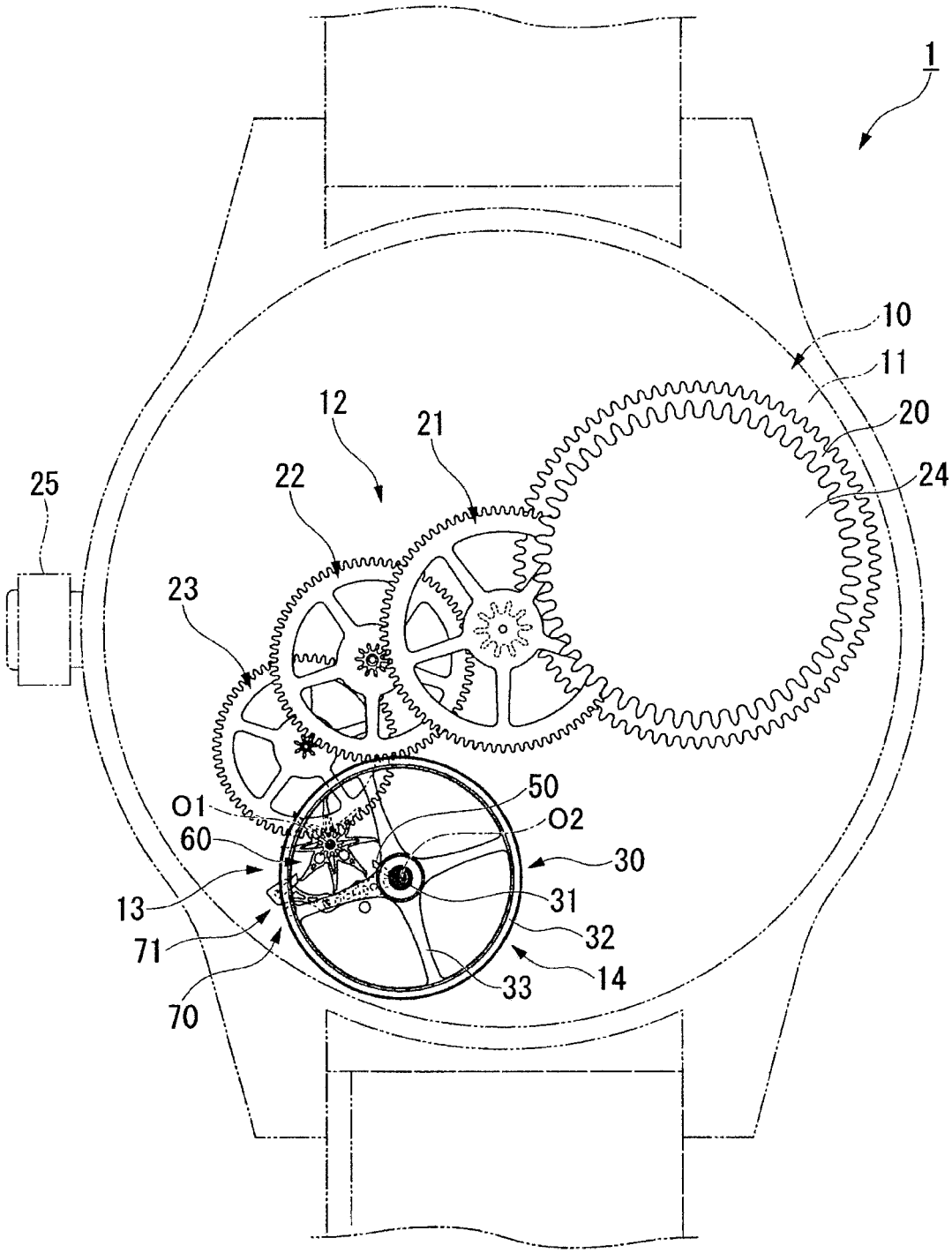


FIG. 3

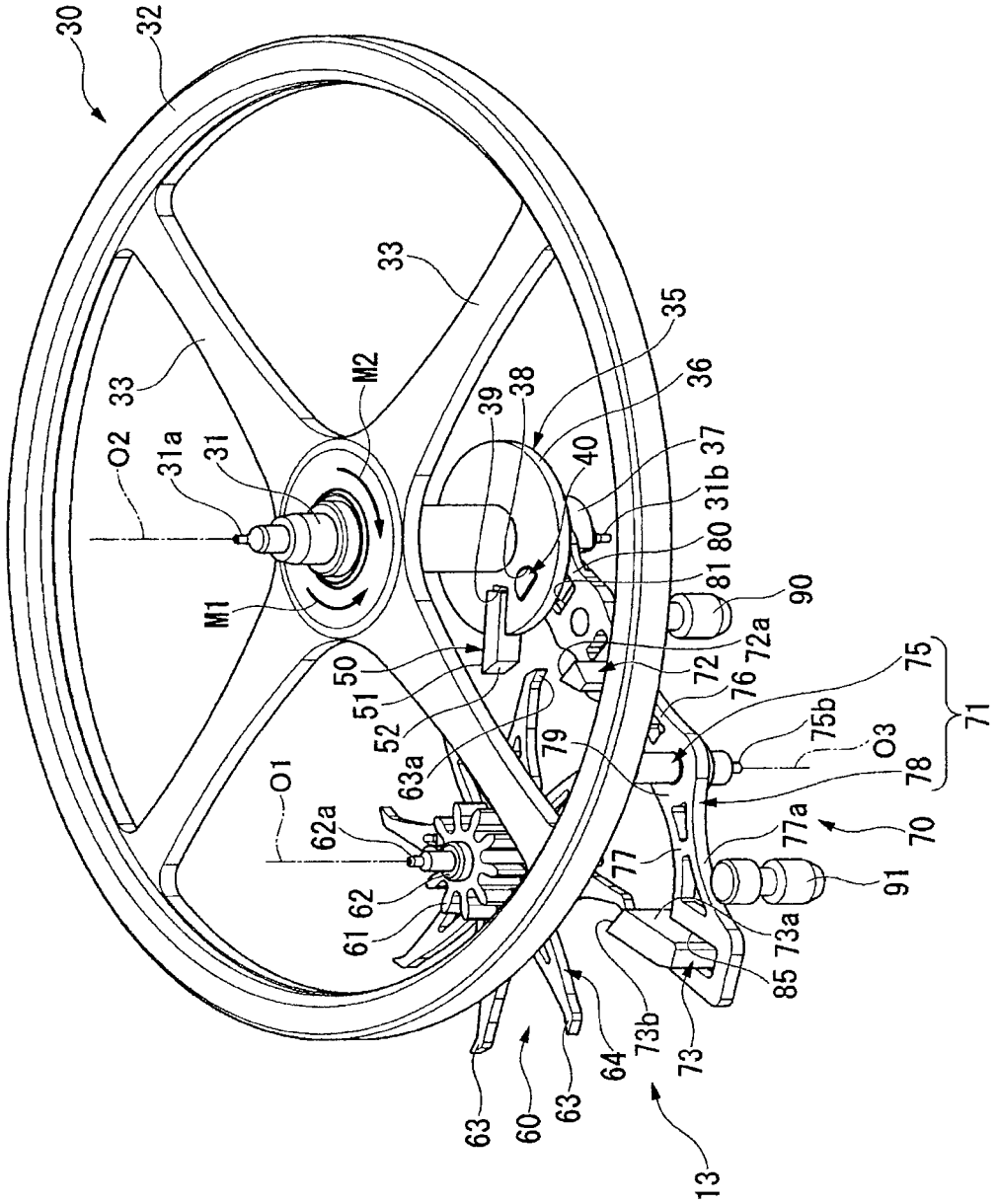

30
32
33
33
35
36
37
38
39
40
31b
80
81
90
72a
72
76
75
71
75b
O3
78
70
77a
91
73a
85
73
73b
64
63
60
63
13
M2
M1
O2
31a
31
50
51
52
63a
79
O1
62a
62
61

FIG. 4

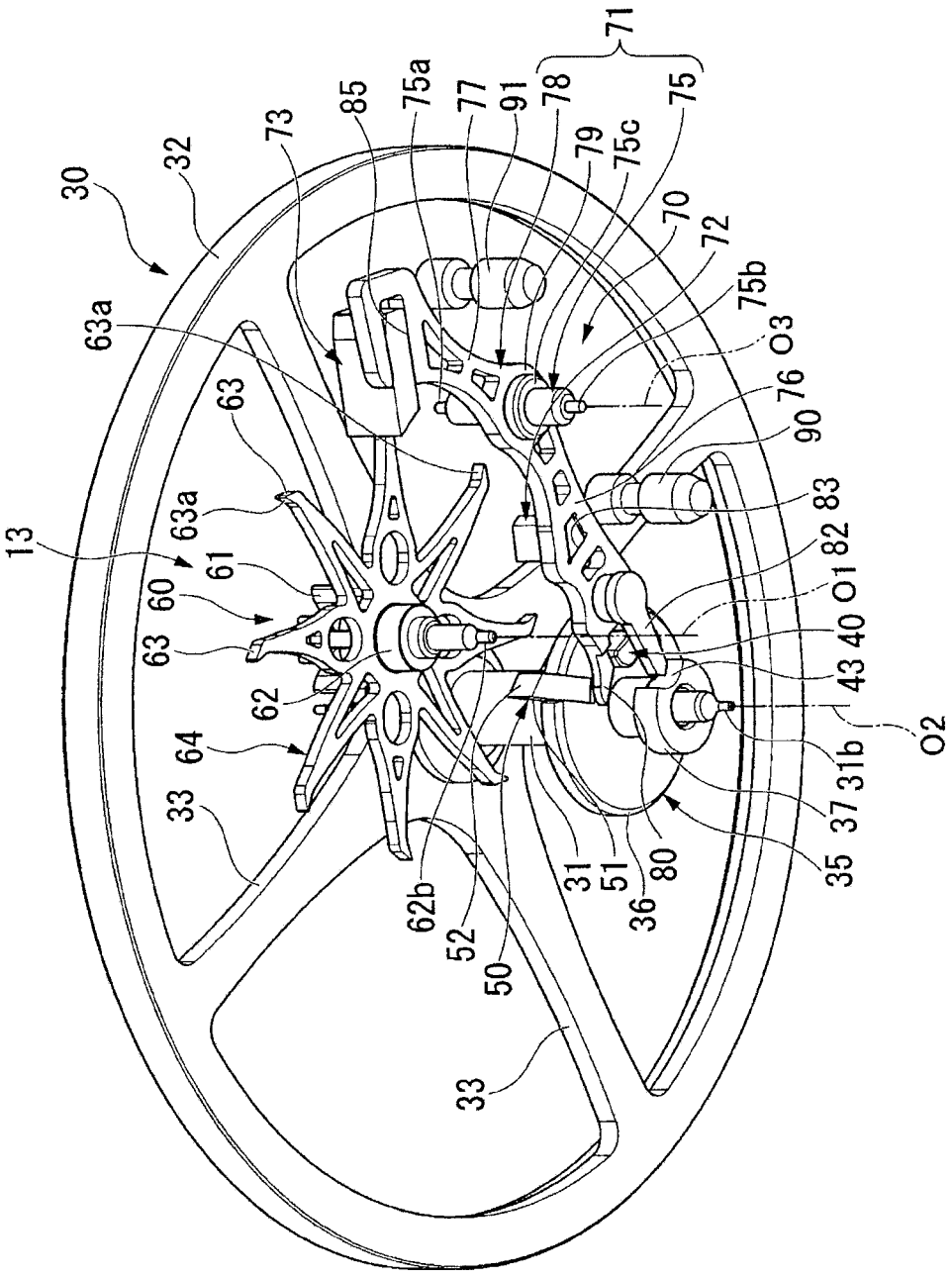

71
85
75a
77
91
78
75
73
79
75c
32
30
70
72
75b
63a
O3
63
76
90
13
63a
83
61
82
60
O1
63
40
62
43
64
31b
O2
33
37
35
31
51
80
36
62b
52
50
33

FIG. 5

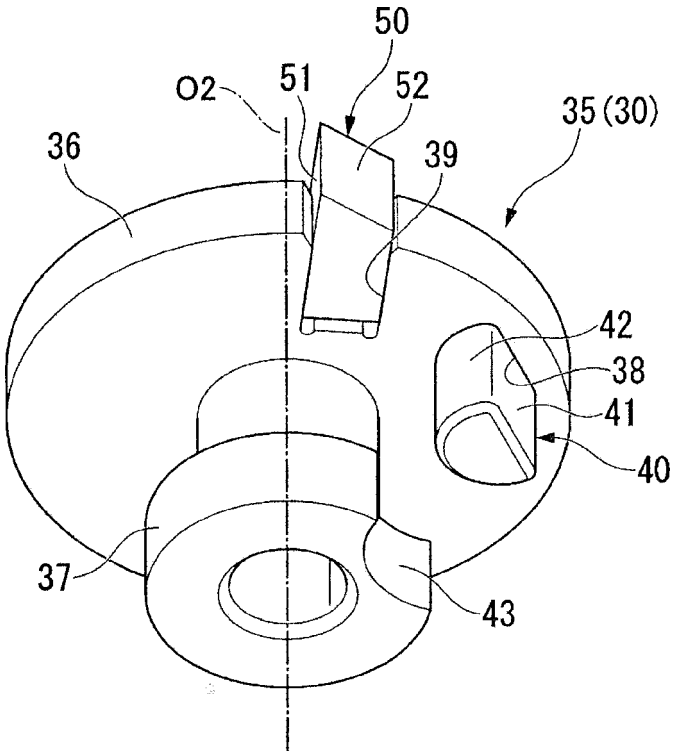


FIG. 6

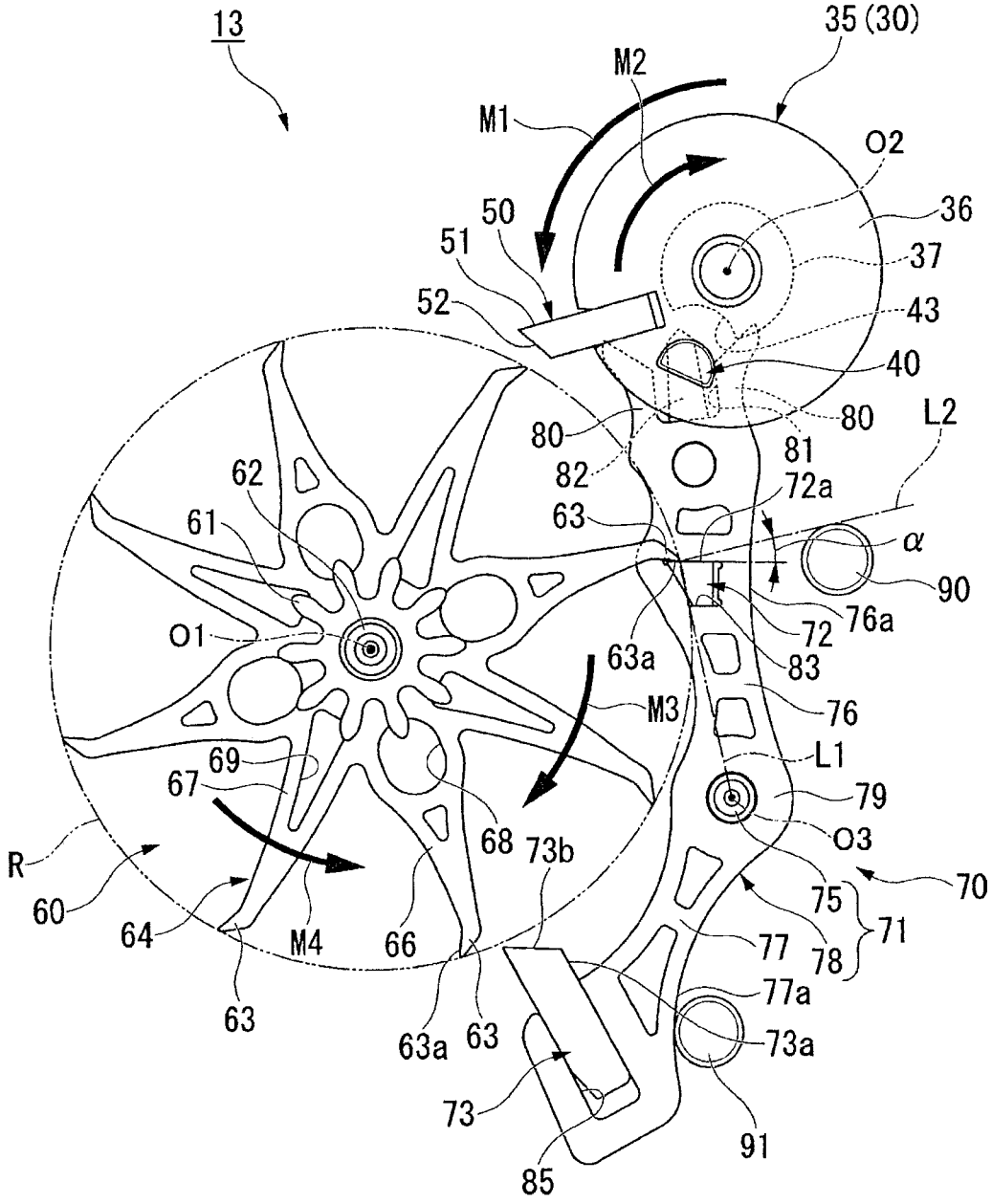

13
35 (30)
M2
M1
O2
36
50
51
37
52
43
40
80
80
81
L2
82
72a
62
63
61
α
90
76a
72
O1
63a
83
M3
76
69
L1
67
79
68
73b
O3
R
75
70
60
64
M4
66
77
78
71
77a
63
63a
63
73a
73
91
85

FIG. 7

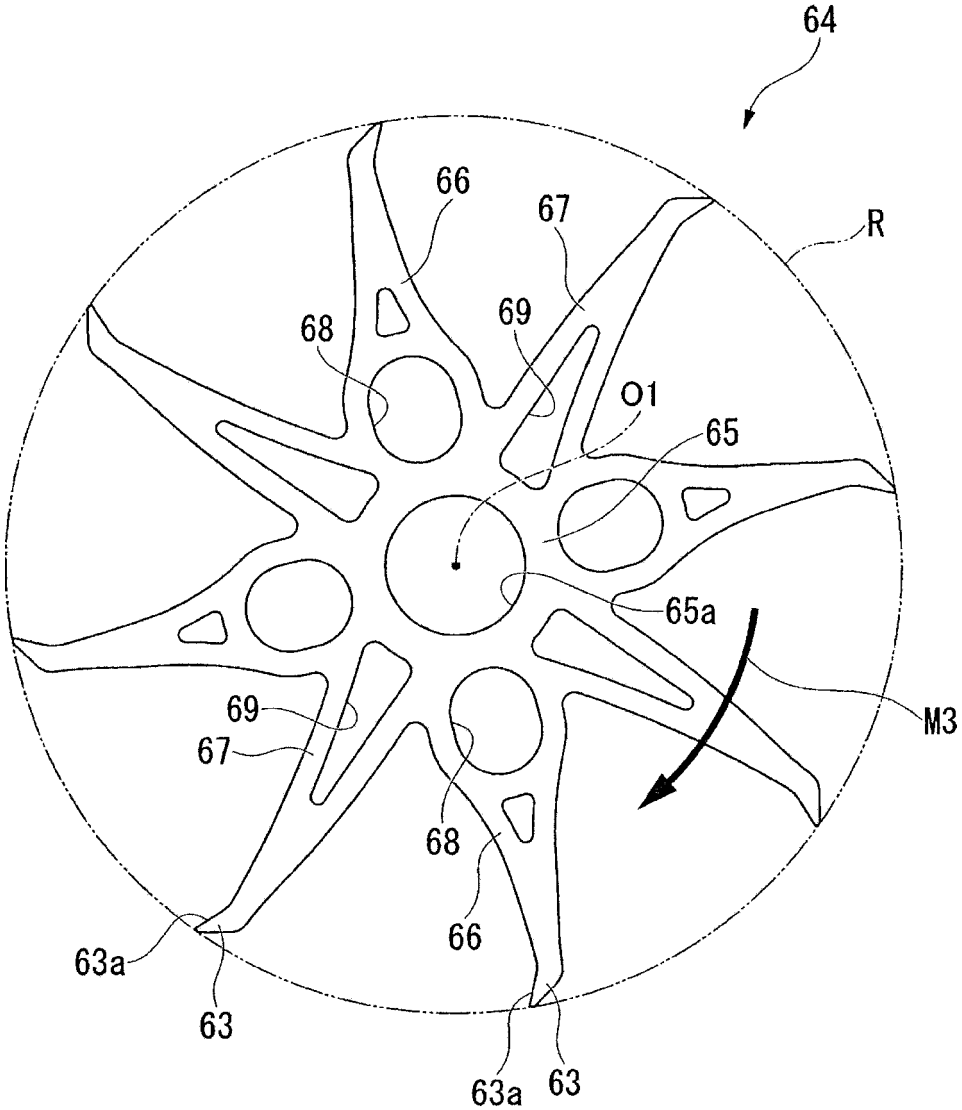


FIG. 8

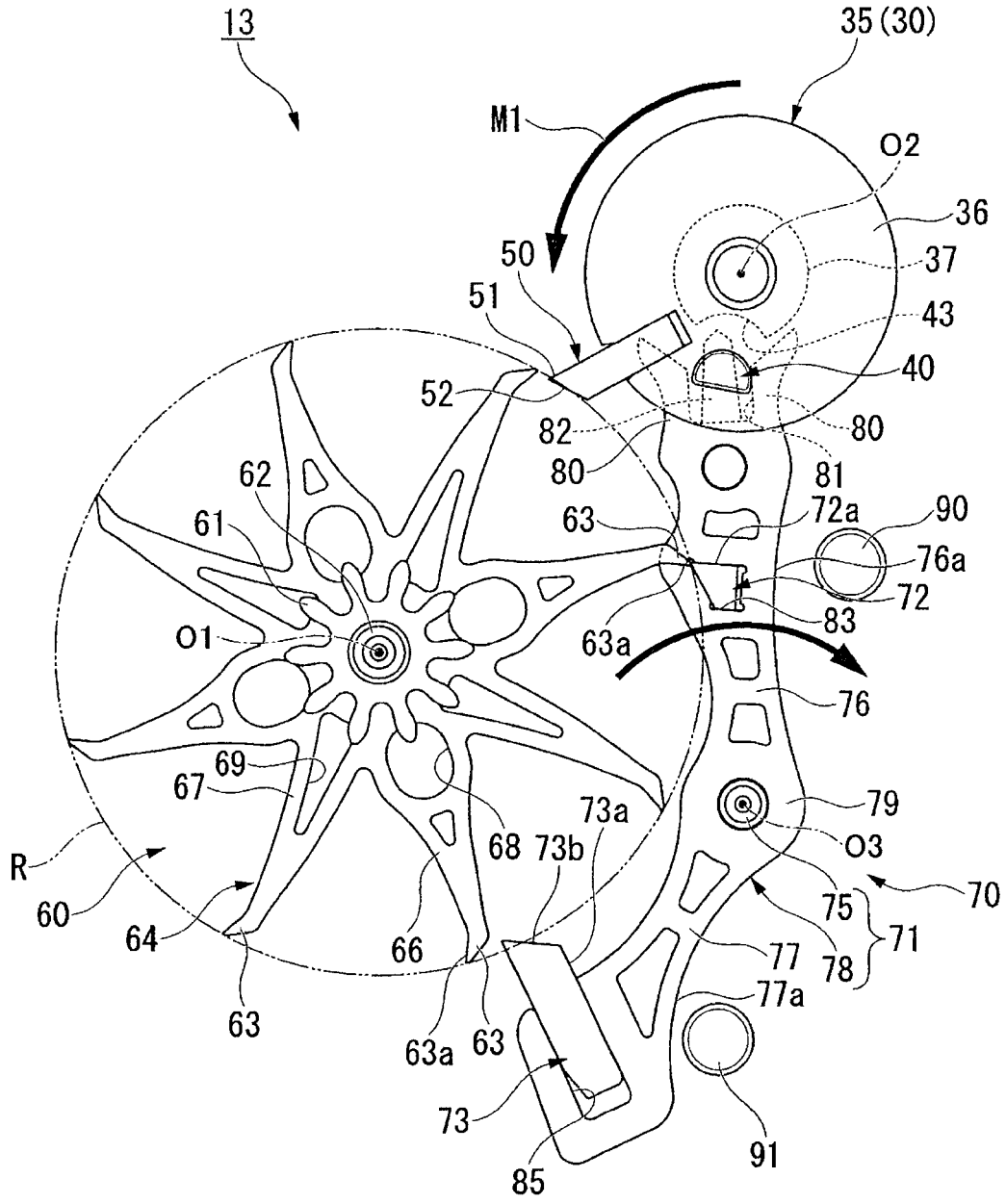

13
35 (30)
M1
O2
36
37
43
40
50
51
52
82
80
80
81
62
61
63
72a
90
76a
72
83
O1
63a
76
69
67
79
73a
O3
R
68
73b
70
60
64
66
75
71
77
78
63
77a
63a
63
73
91
85

FIG. 9

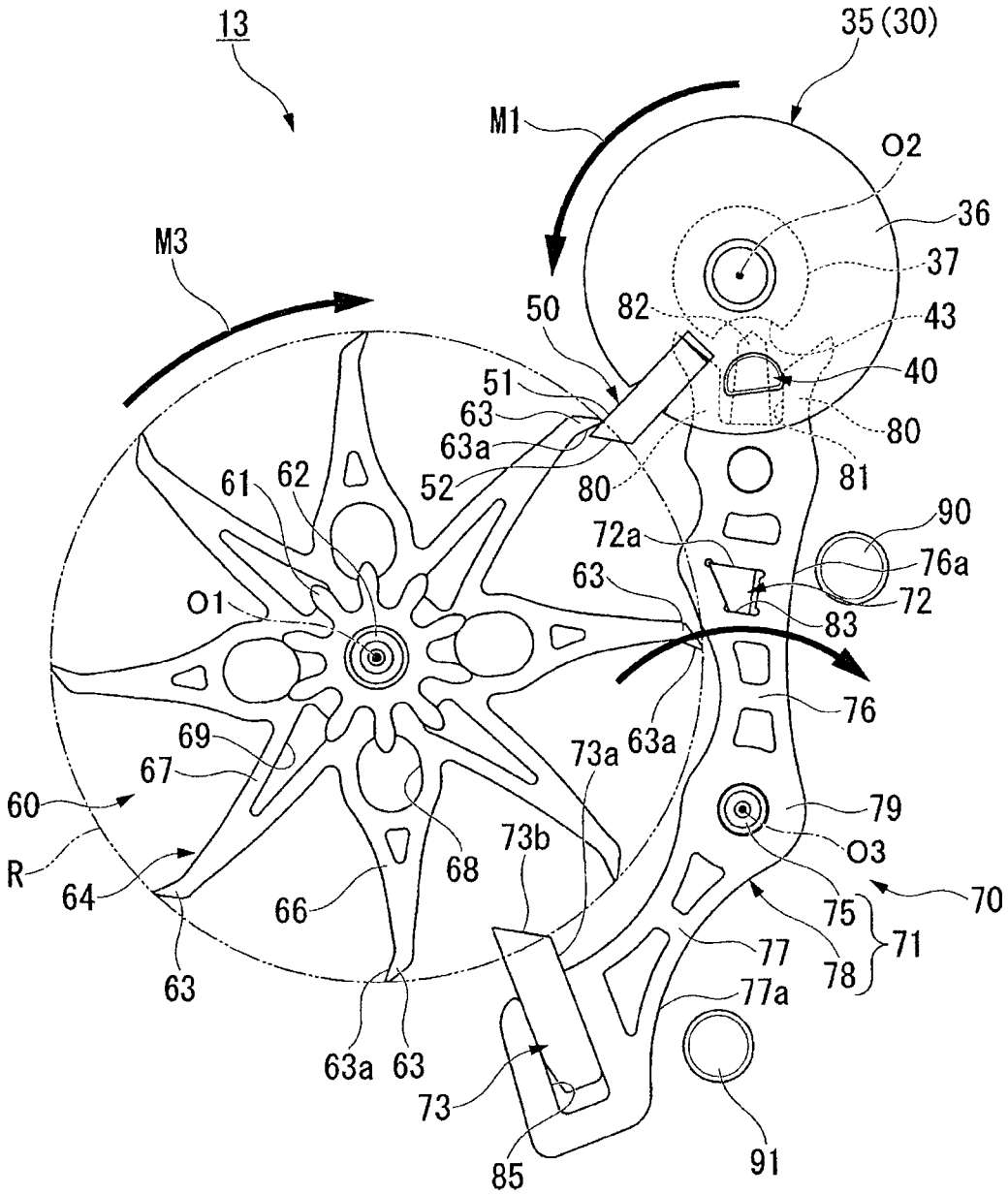

13
35 (30)
M1
O2
36
M3
37
50
82
43
40
51
63
80
63a
81
61
62
52
80
90
72a
76a
63
O1
72
83
76
69
73a
63a
67
79
60
73b
O3
R
68
70
64
66
75
71
77
63
78
77a
63a
63
73
91
85

FIG. 10

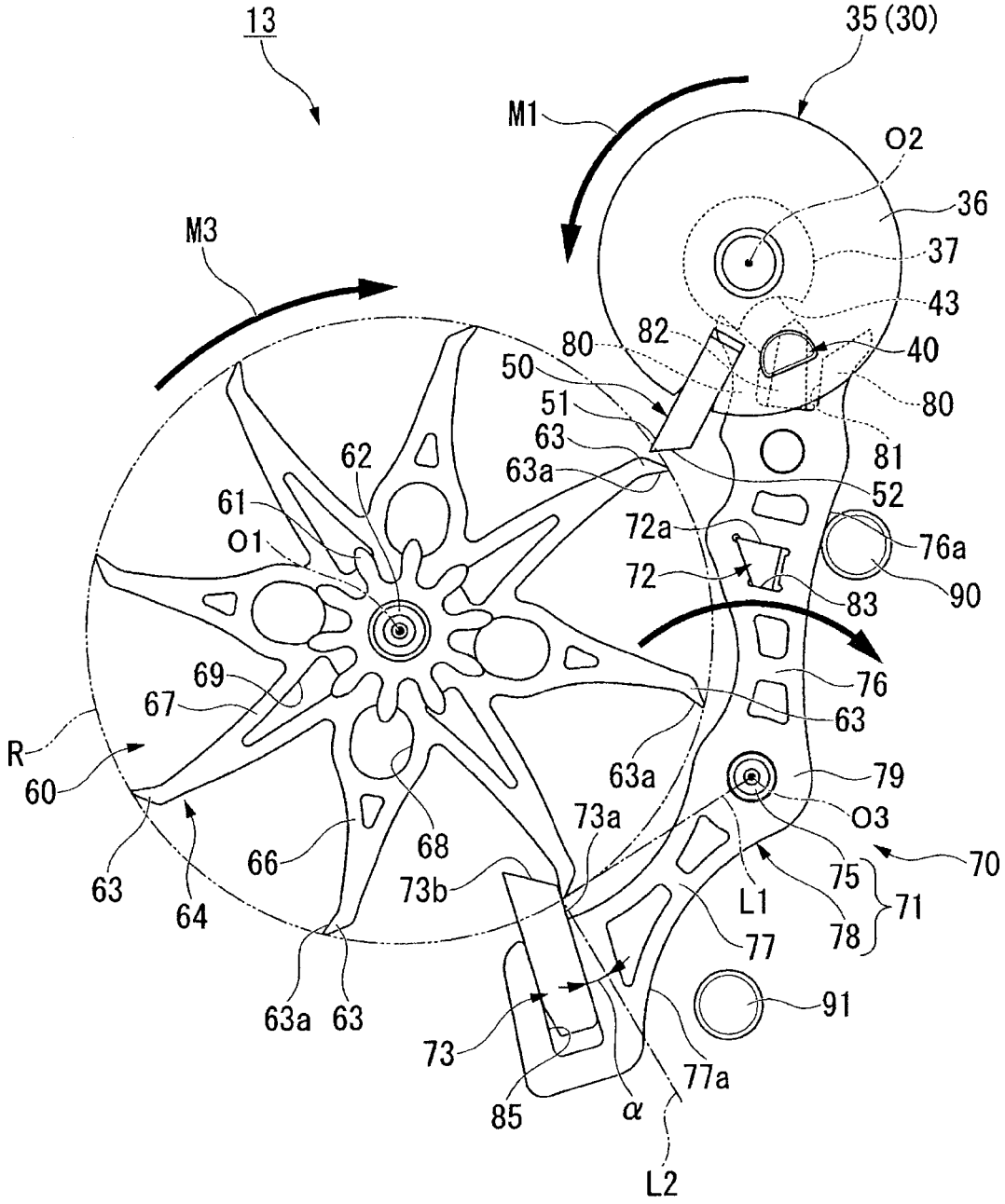

13
35 (30)
M1
O2
36
37
43
M3
82
80
40
50
80
51
81
63
63a
52
62
61
72a
76a
O1
72
83
90
69
76
67
63
R
63a
79
60
O3
73a
70
66
68
75
63
73b
L1
71
64
78
77
91
63a
63
73
77a
85
α
L2

FIG. 11

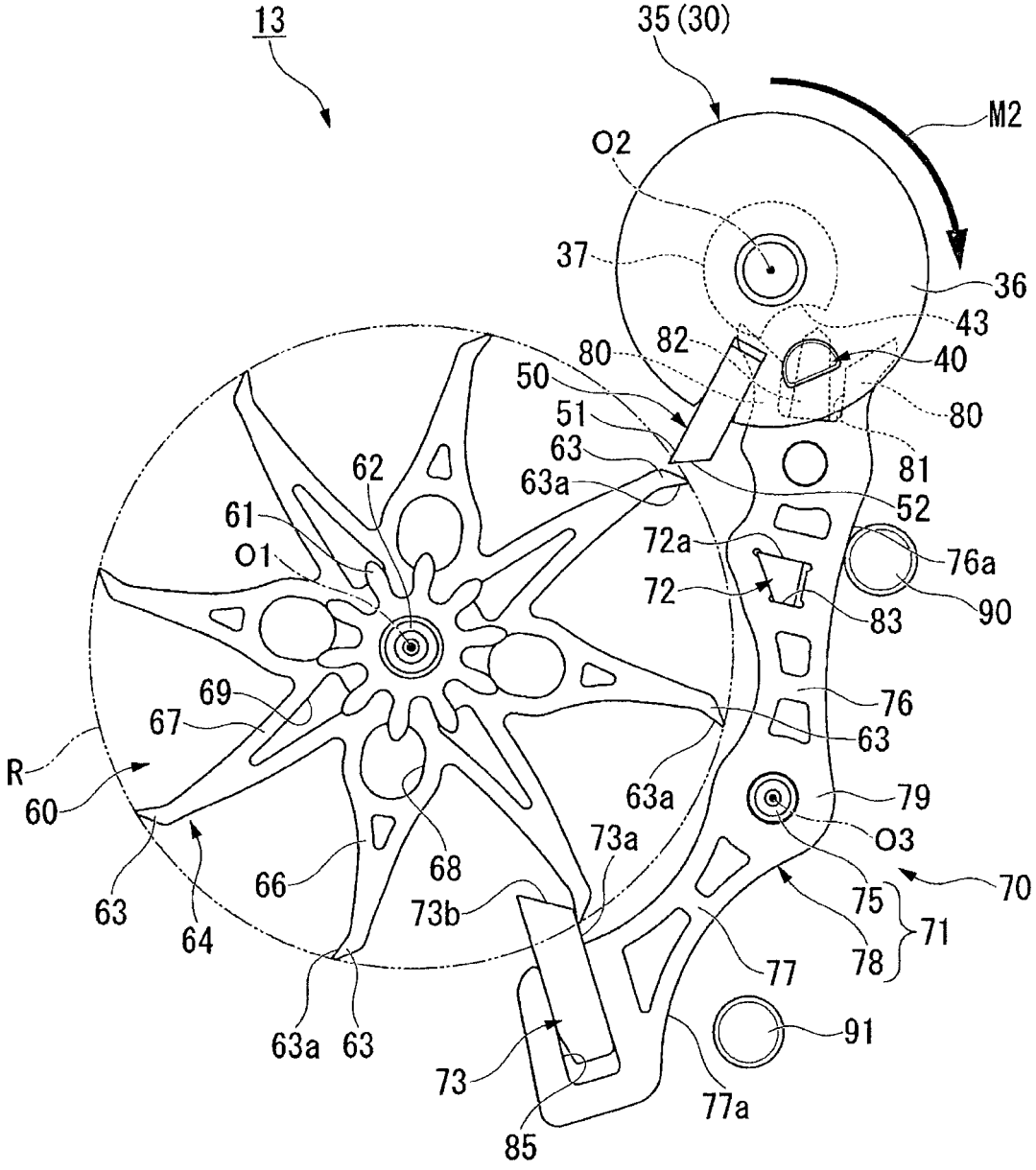

13
35 (30)
M2
O2
37
36
43
82
40
80
50
80
51
63
81
63a
52
62
61
72a
76a
O1
72
90
83
69
76
67
63
R
63a
79
60
O3
73a
70
66
68
75
63
73b
71
64
78
77
63a
63
91
73
77a
85

FIG. 12

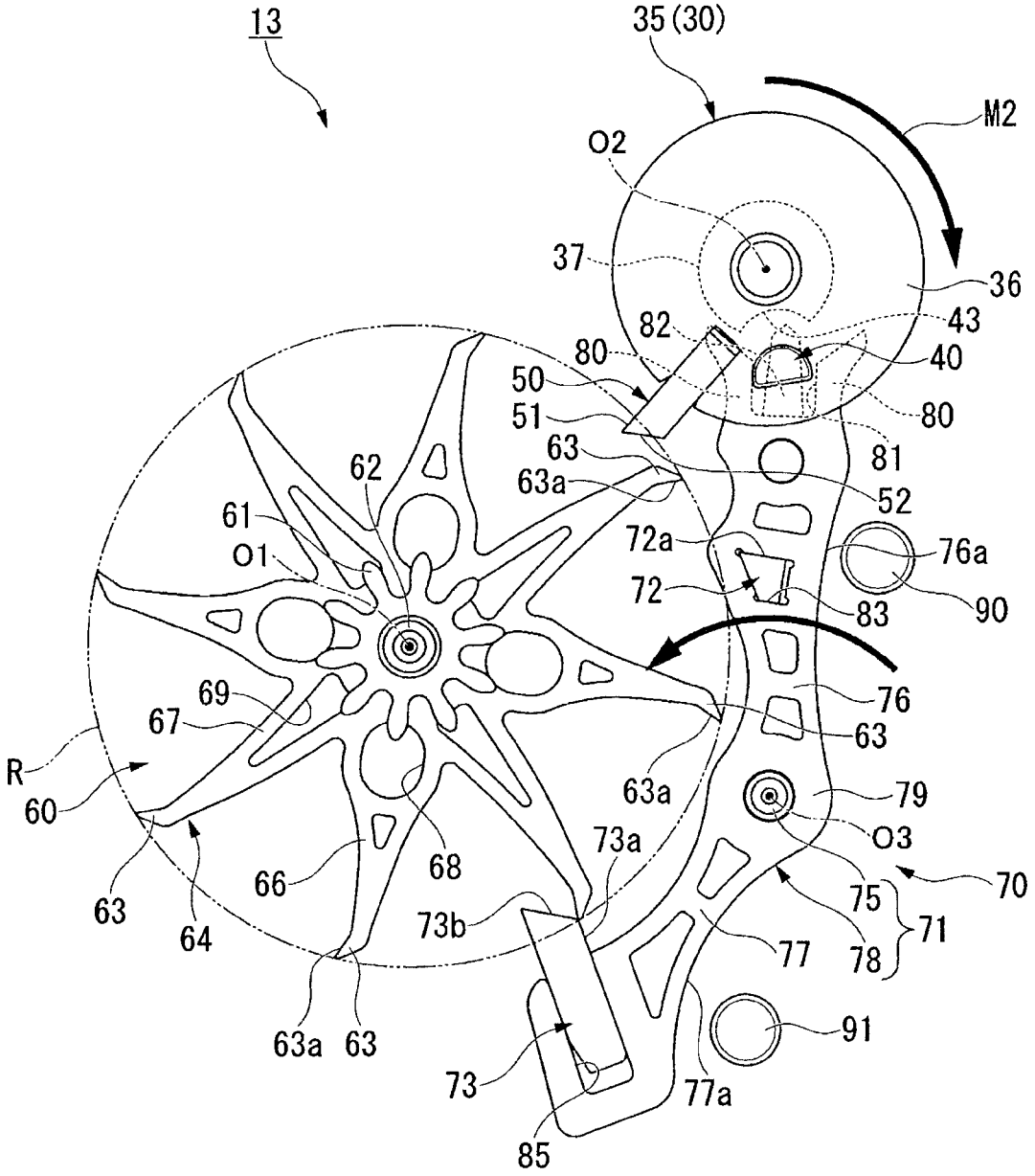

13
35 (30)
M2
O2
37
36
43
82
40
80
50
80
51
81
63
52
63a
62
61
72a
76a
O1
72
83
90
76
69
67
63
R
63a
79
60
O3
73a
68
66
70
75
63
64
73b
71
77
78
91
63a
63
73
77a
85

FIG. 13

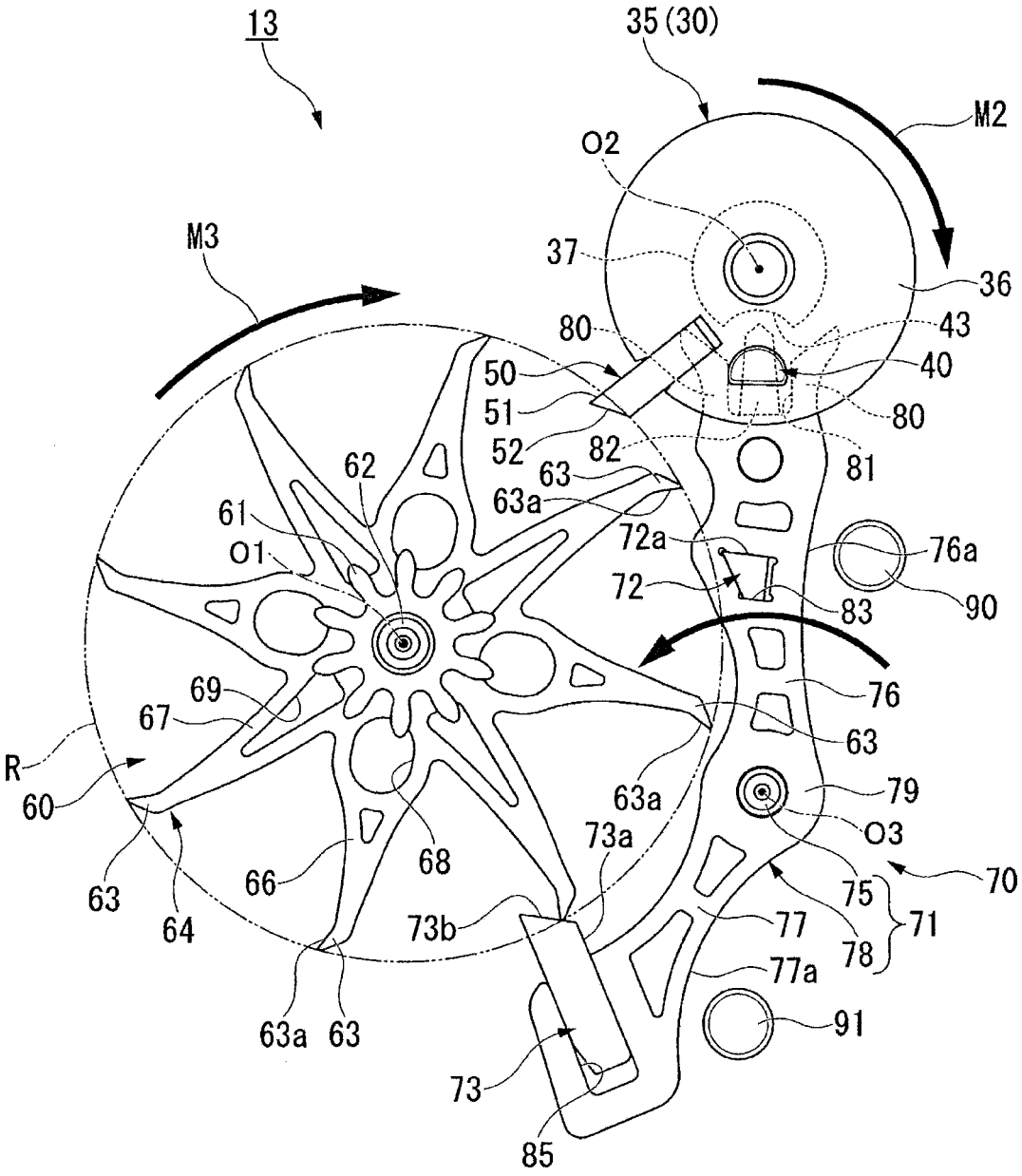

13
35 (30)
M2
O2
M3
37
36
80
43
50
40
51
80
52
82
81
62
63
61
63a
72a
76a
O1
72
83
90
76
69
67
63
R
60
63a
79
O3
73a
63
64
66
68
75
70
73b
77
71
78
77a
63a
63
91
73
85

FIG. 14

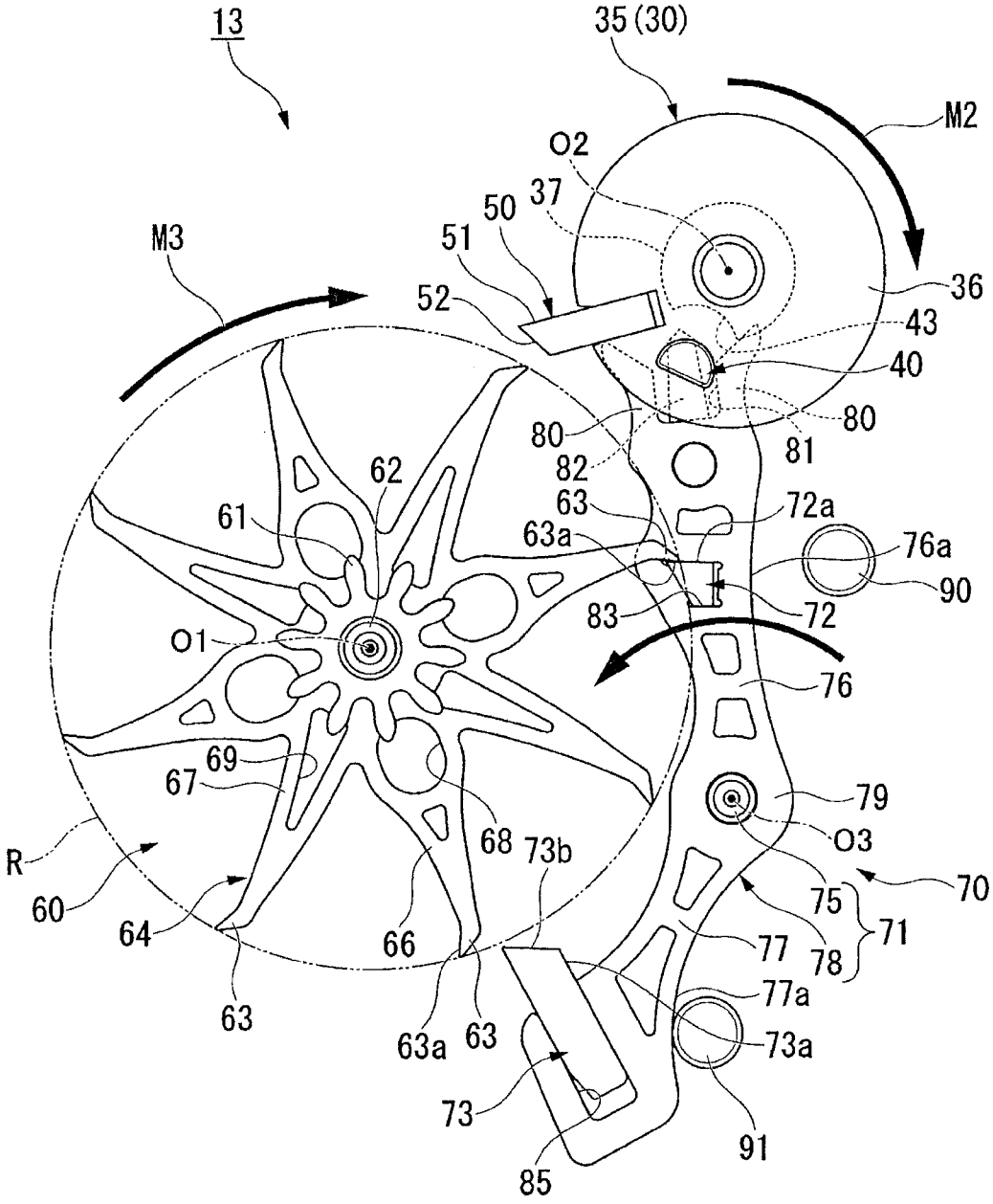

13
35 (30)
M2
O2
37
50
51
52
M3
36
43
40
80
80
81
82
62
61
63
72a
63a
76a
90
83
72
O1
76
69
67
79
O3
68
73b
R
60
64
66
75
70
71
77
78
63
63a
63
77a
73a
73
91
85

FIG. 15

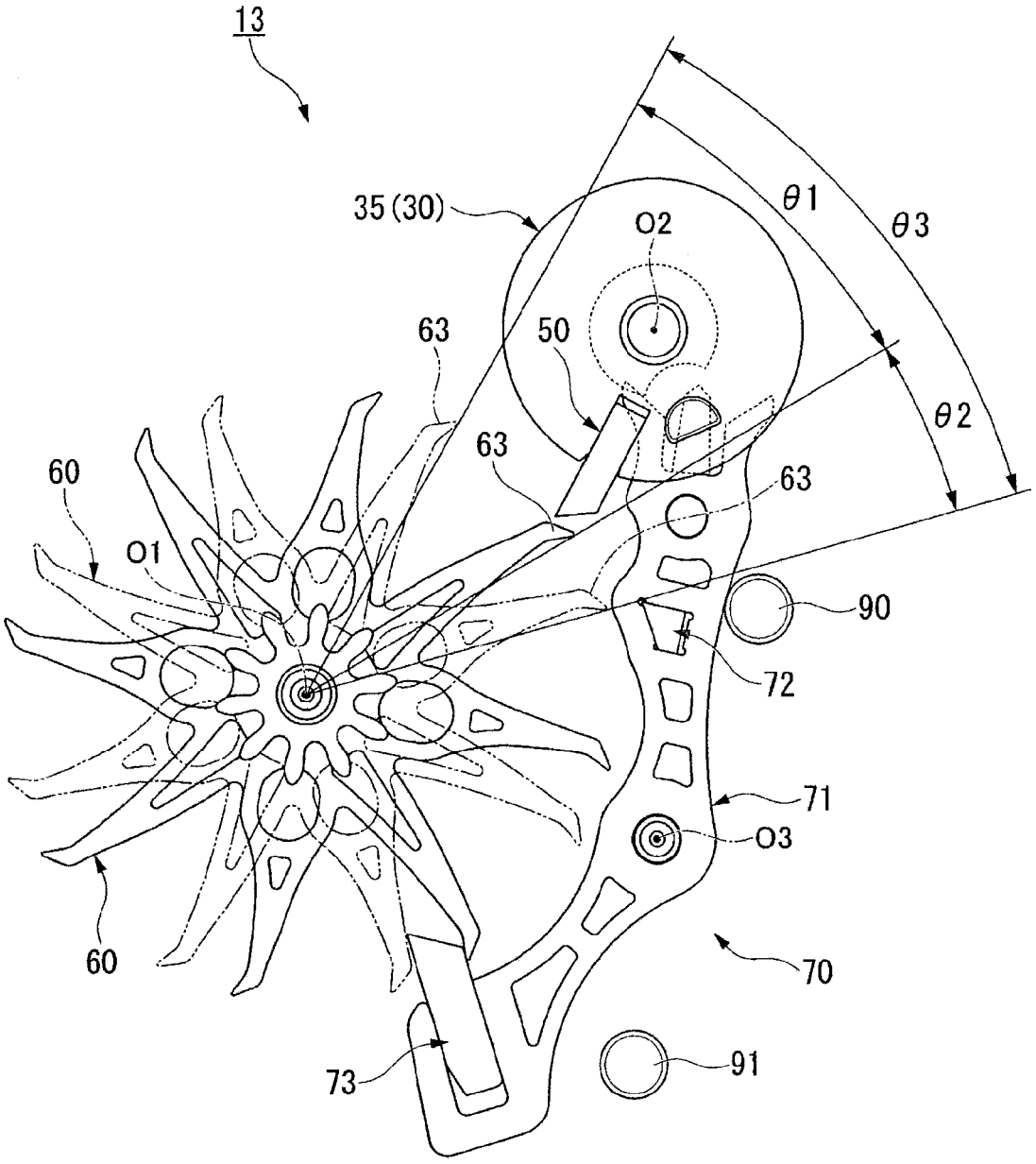


FIG. 16

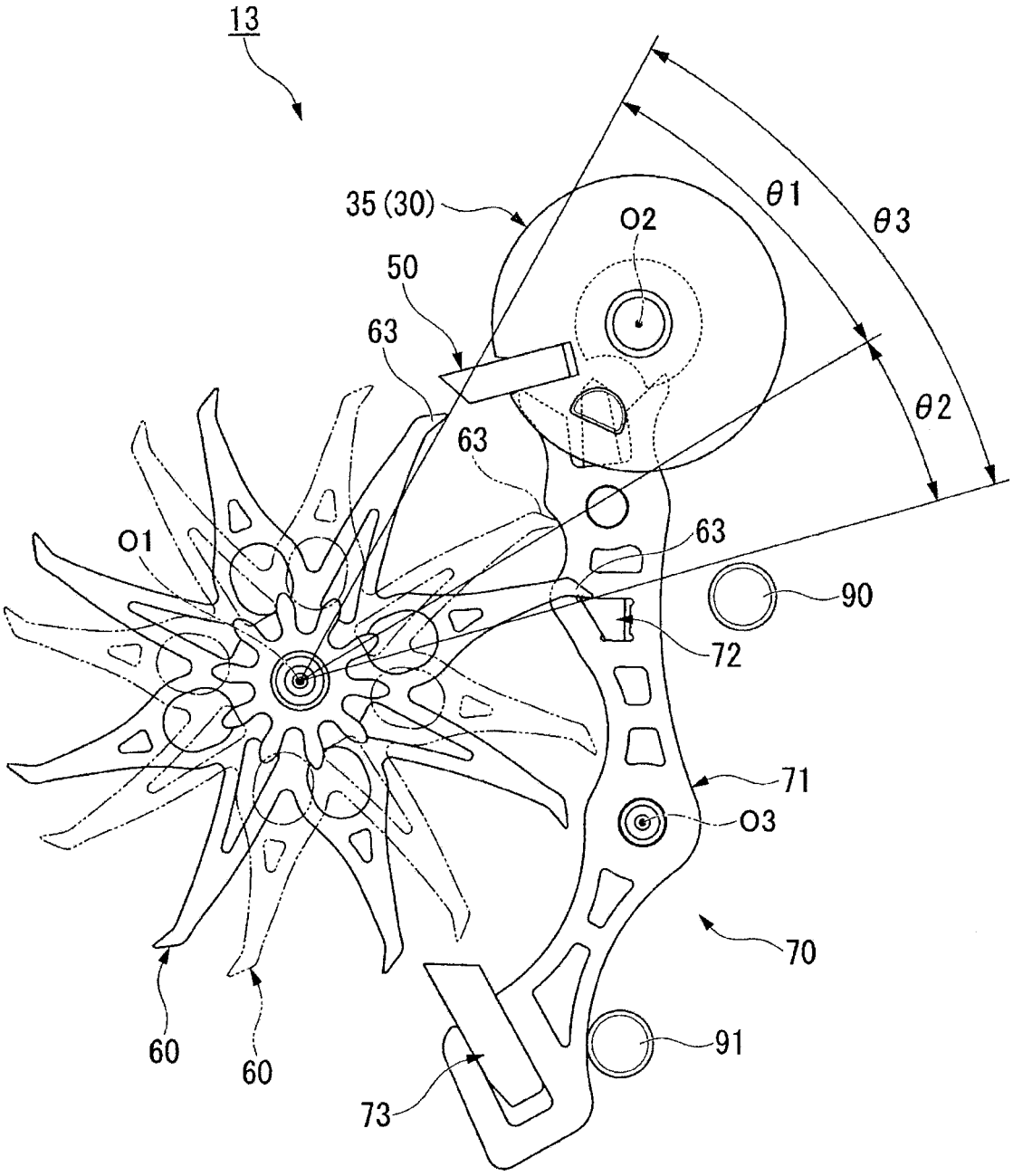


FIG. 17

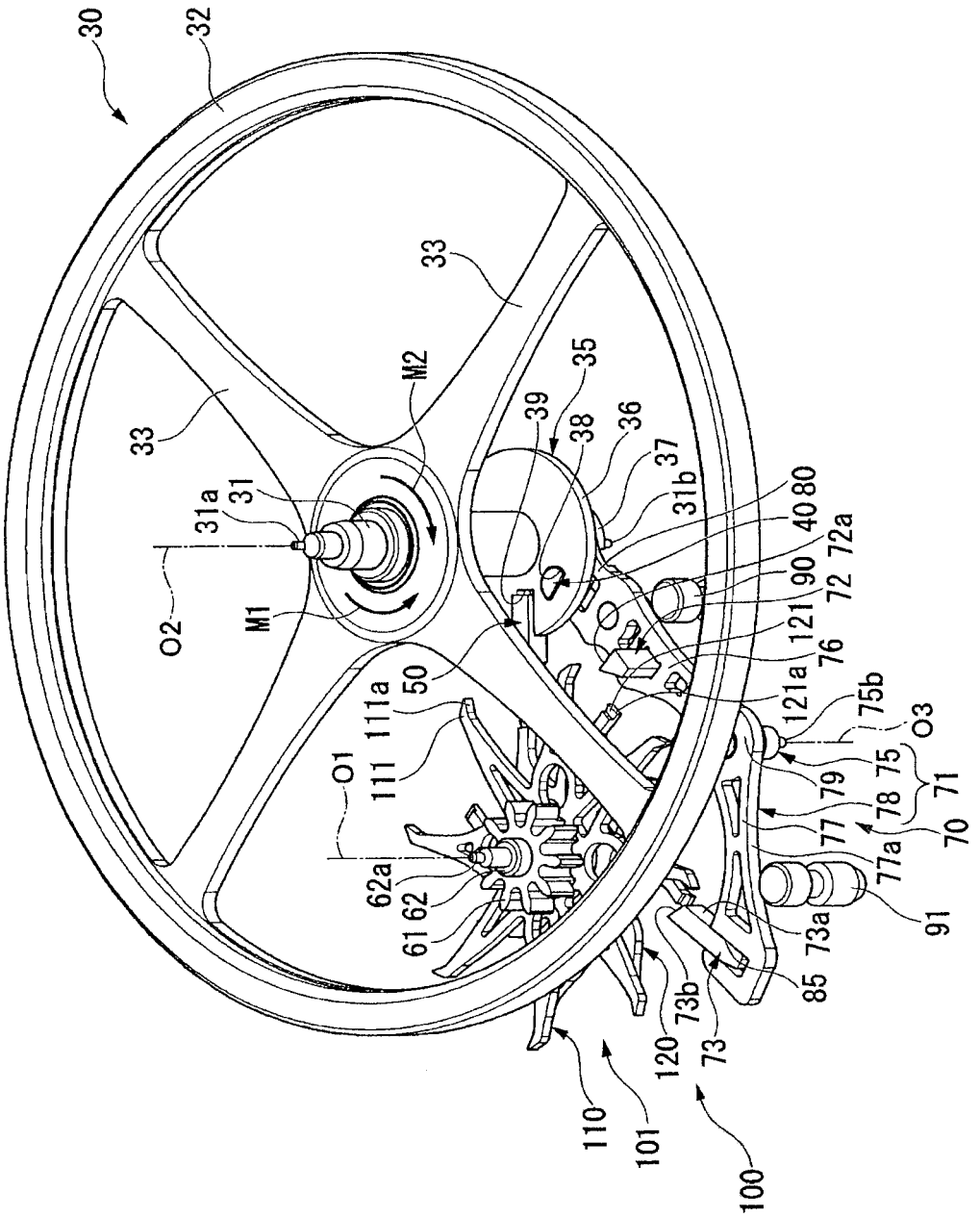

30
32
33
33
M2
35
39
38
36
37
31b
40
80
72a
90
72
121
76
121a
75b
O3
75
79
78
71
70
77
77a
91
73a
85
73b
73
120
110
101
100
O1
111
111a
50
62a
62
61
O2
M1
31a
31

FIG. 18

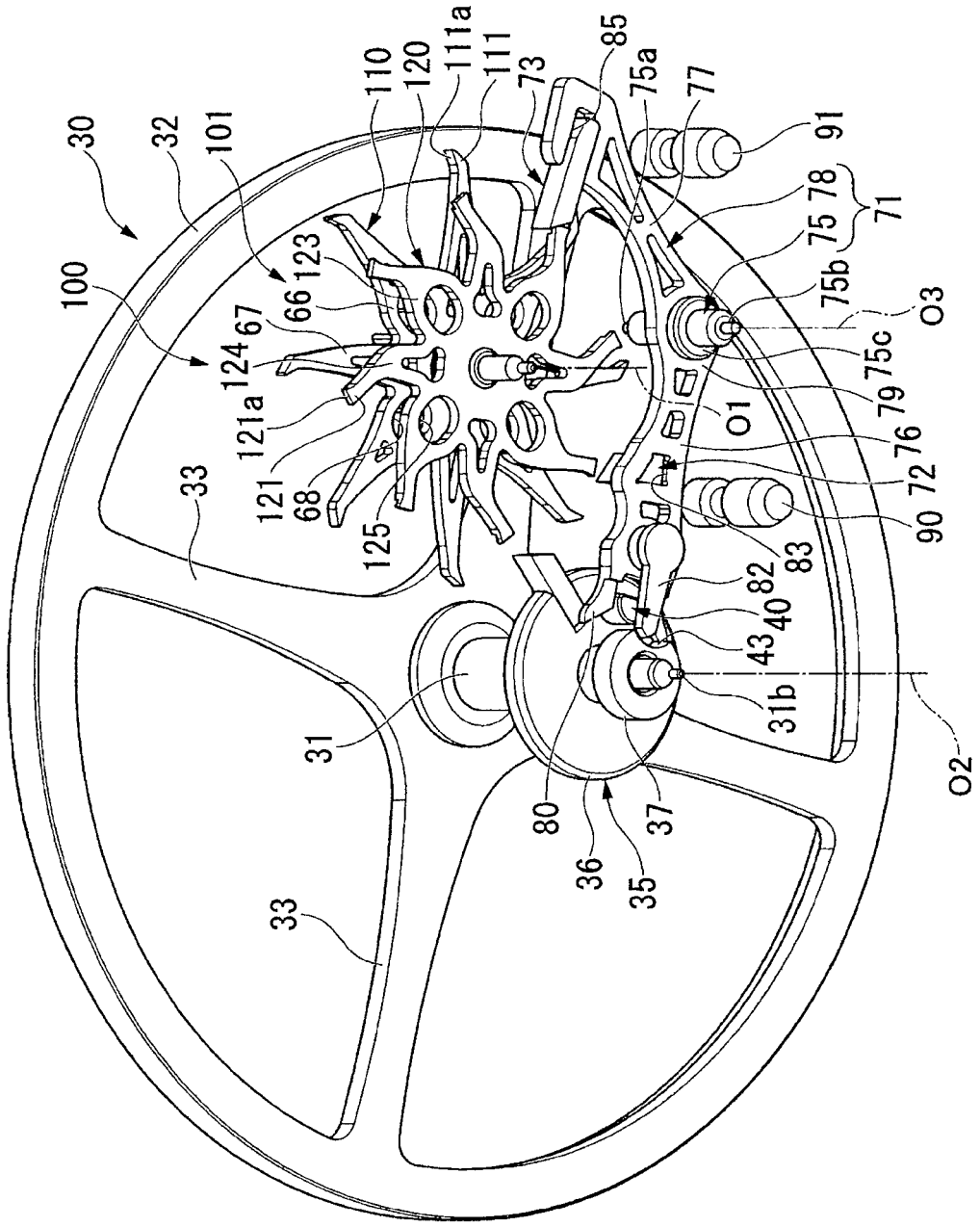

30
32
101
100
110
120
111a
111
73
85
75a
77
91
78
71
75
75b
O3
75c
79
O1
76
72
90
83
82
40
43
31b
O2
37
35
36
80
31
33
33
123
66
67
124
121a
121
68
125

FIG. 19

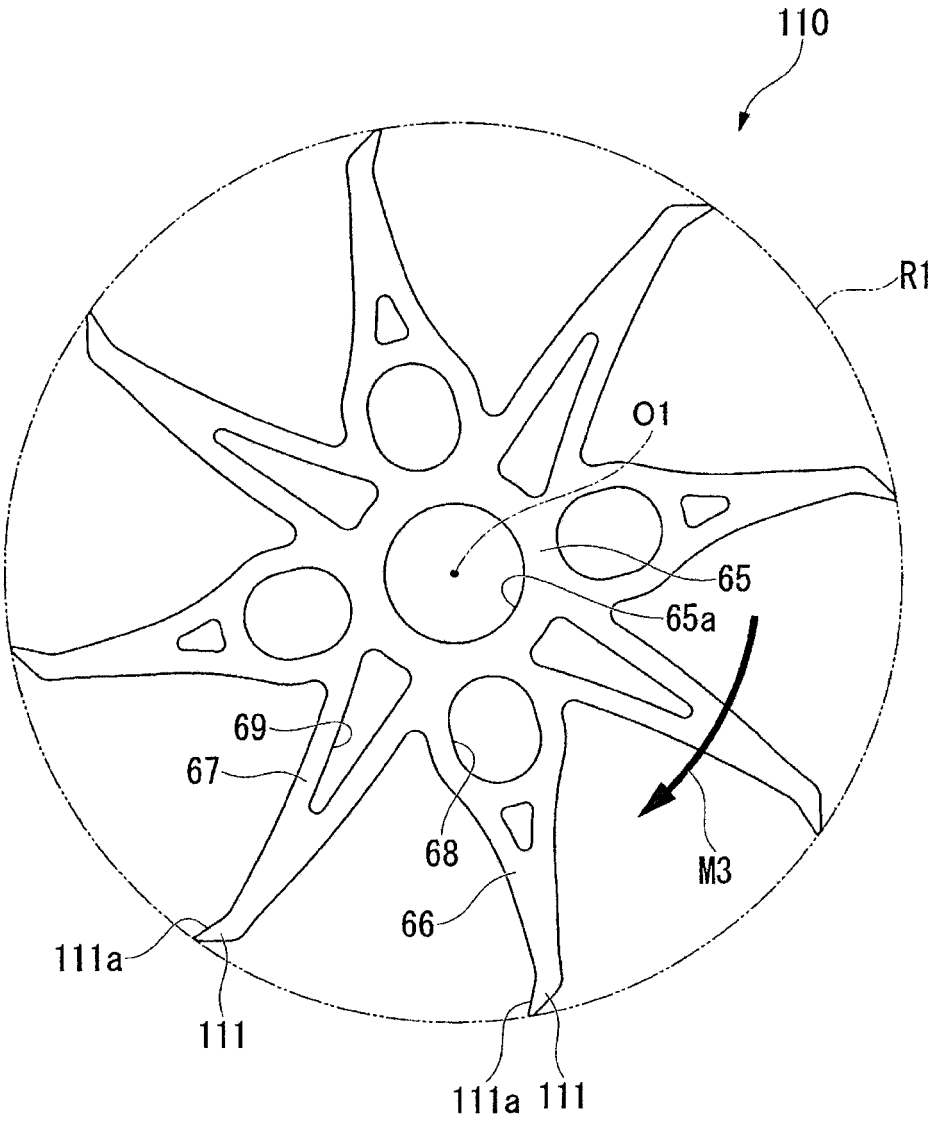


FIG. 20

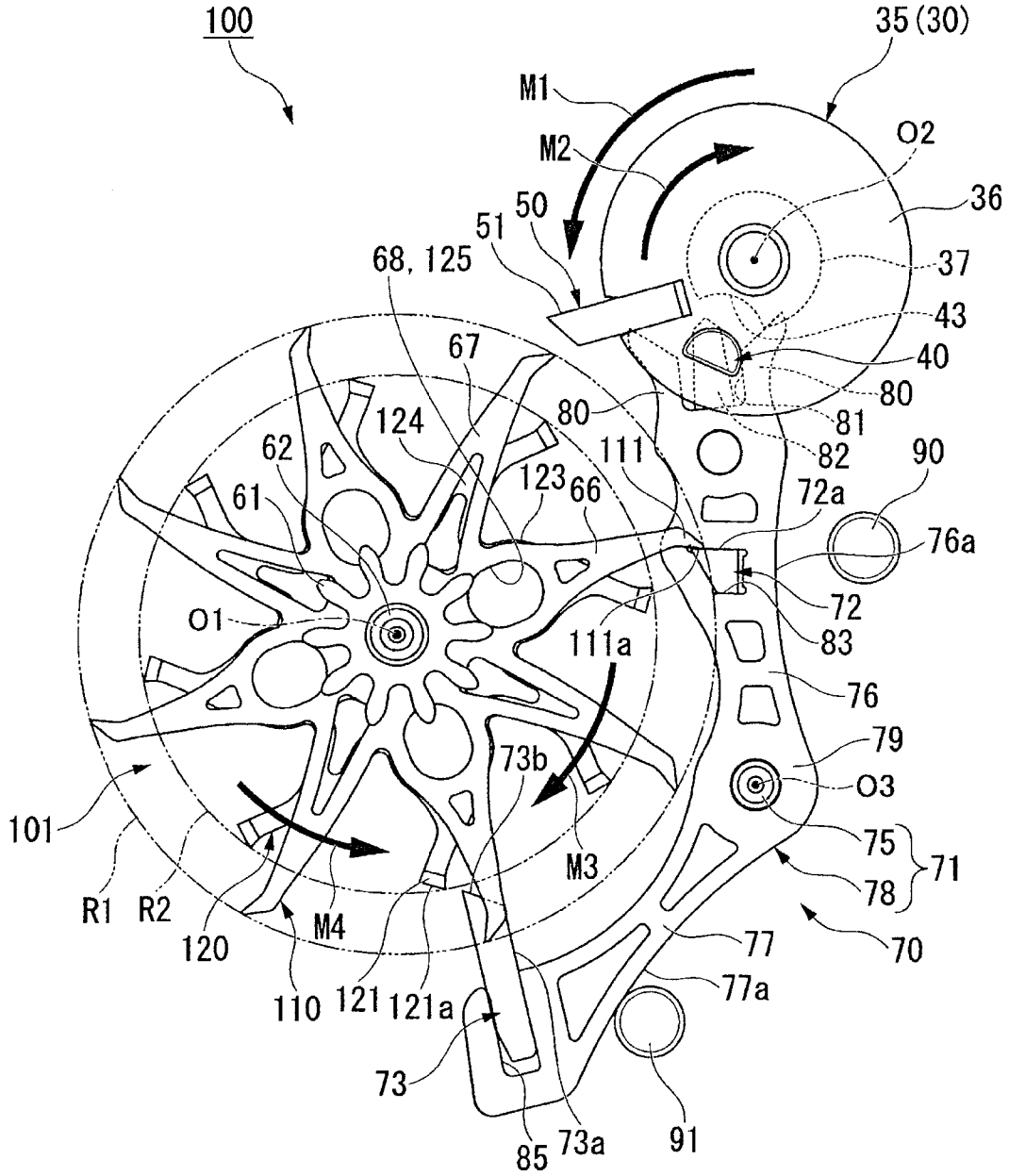

100
35 (30)
M1
M2
O2
36
50
51
68, 125
37
43
67
40
80
124
80
81
62
111
82
90
61
123
66
72a
76a
O1
72
111a
83
76
79
73b
O3
101
75
71
M3
78
R1
R2
120
M4
77
70
77a
110
121
121a
73
73a
91
85

FIG. 21

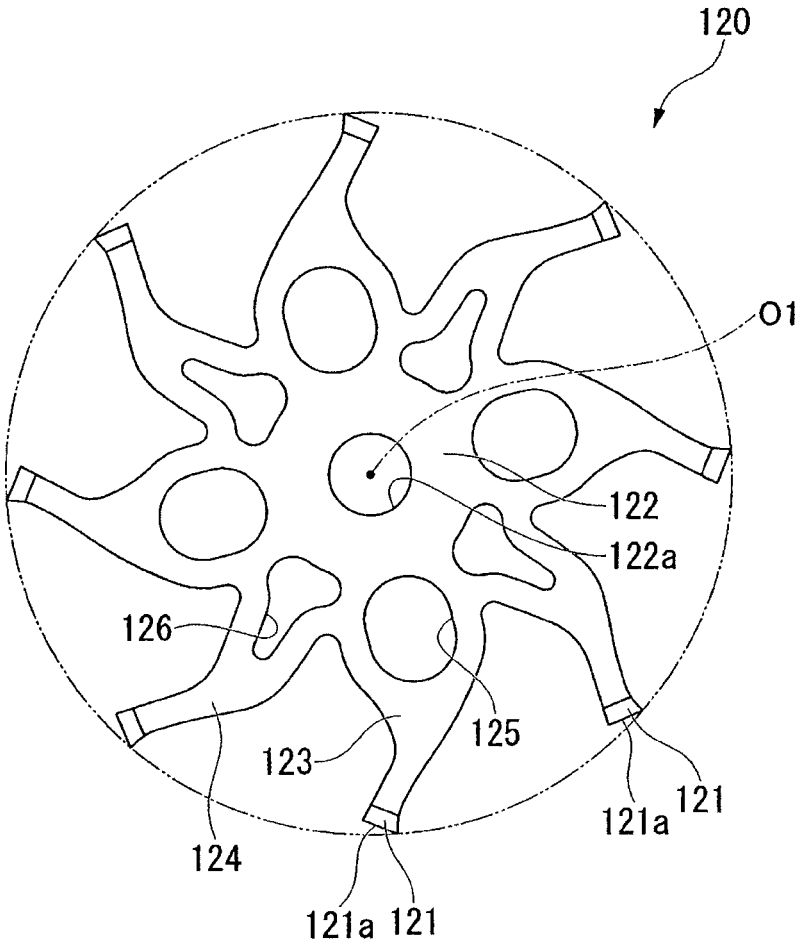


FIG. 22

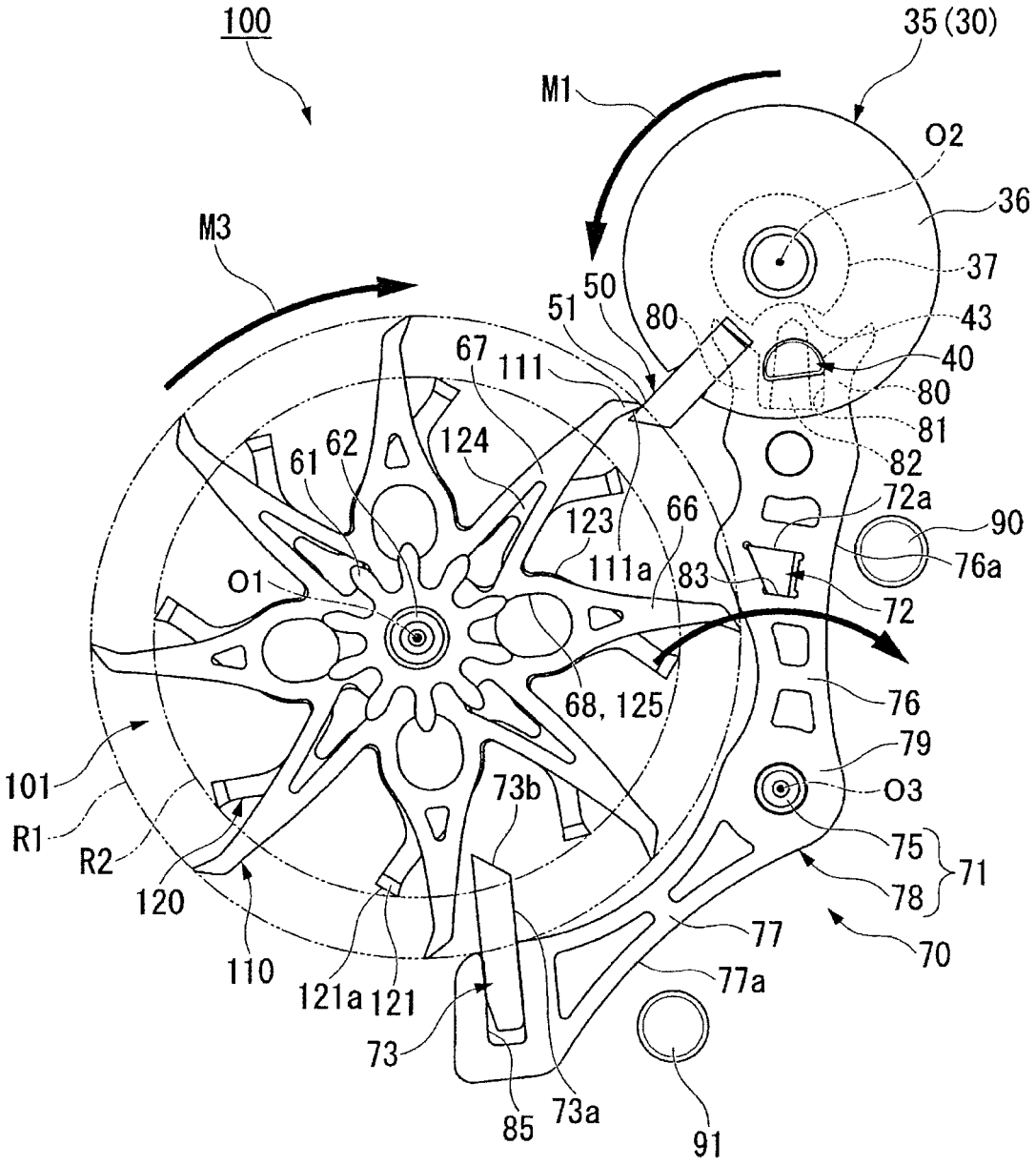

100
35 (30)
M1
O2
36
M3
37
50
51
80
43
67
111
40
80
81
61
62
124
82
72a
123
66
90
111a
83
76a
O1
72
68, 125
76
79
101
73b
O3
R1
R2
75
71
120
78
77
70
110
121a
121
77a
73
85
73a
91

FIG. 23

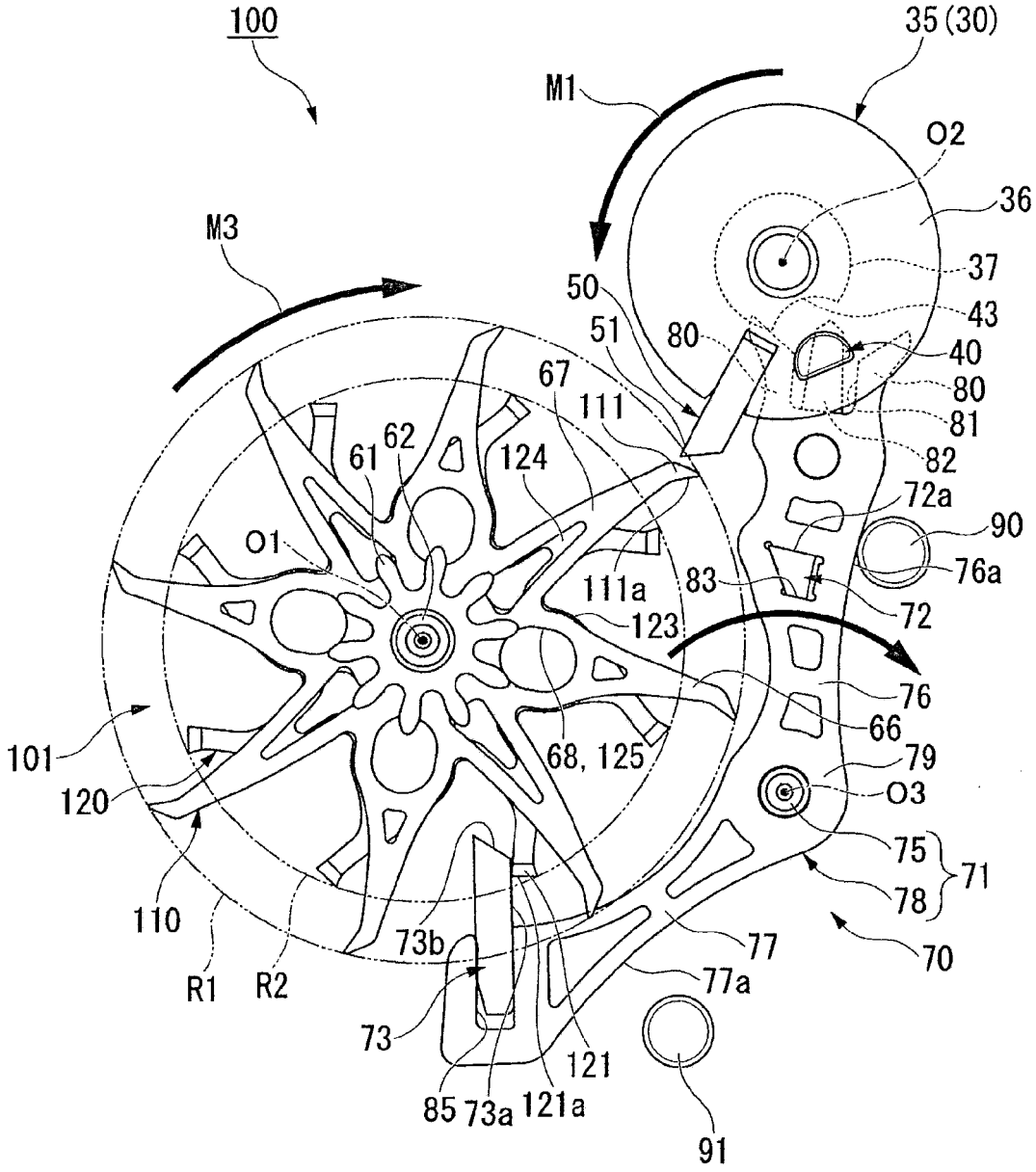

100
35 (30)
M1
O2
36
M3
37
50
43
51
80
40
67
111
80
81
61
62
124
82
72a
O1
90
111a
83
76a
123
72
76
66
101
68, 125
79
120
O3
75
71
78
110
73b
77
70
R1
R2
77a
73
121
85
73a
121a
91

FIG. 24

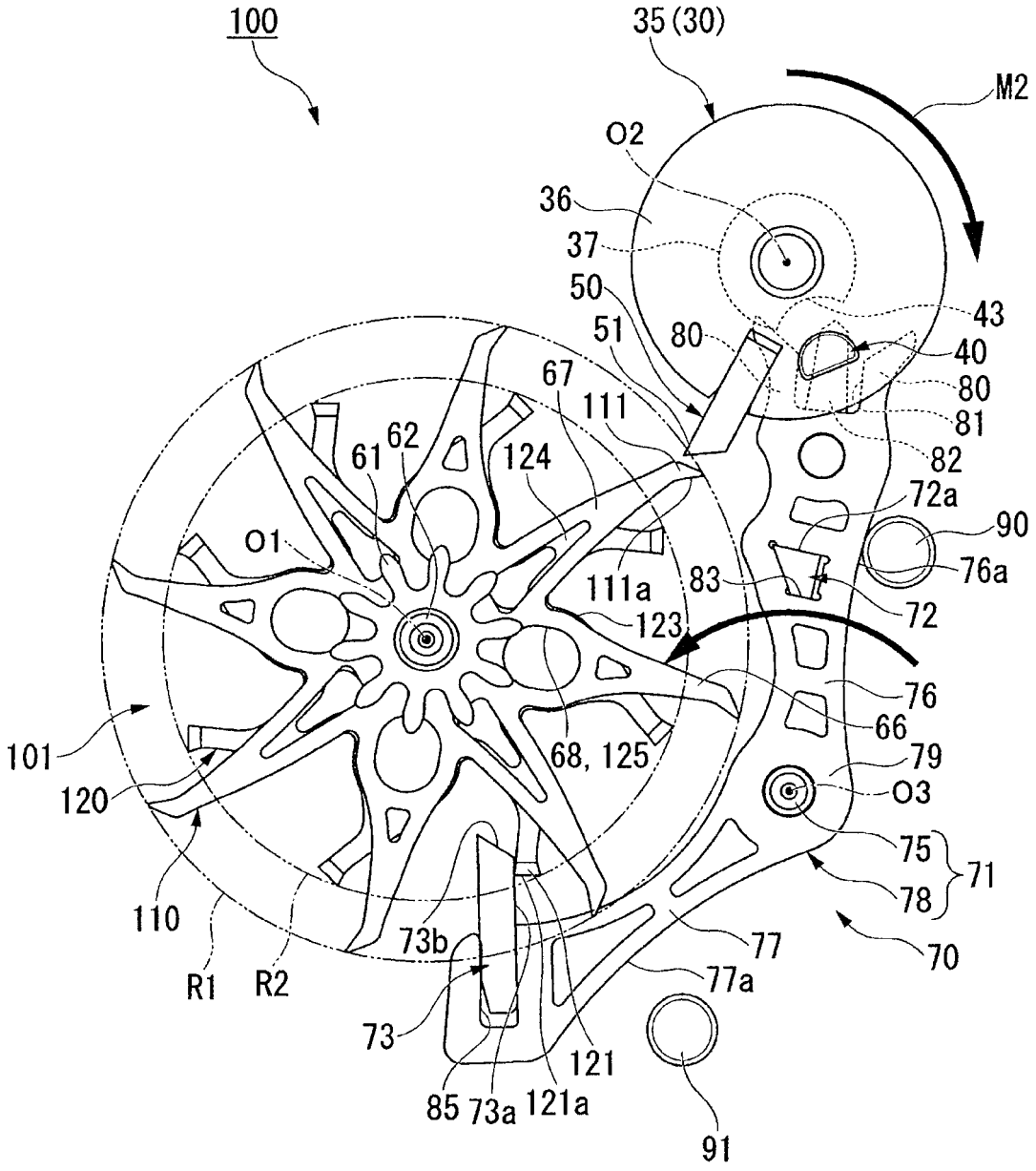

100
35 (30)
M2
O2
36
37
50
51
80
43
40
80
81
82
67
111
61
62
124
72a
90
76a
O1
111a
83
72
123
76
66
101
68, 125
79
O3
120
75
71
78
110
73b
77
70
R1
R2
77a
73
121
85
73a
121a
91

FIG. 25

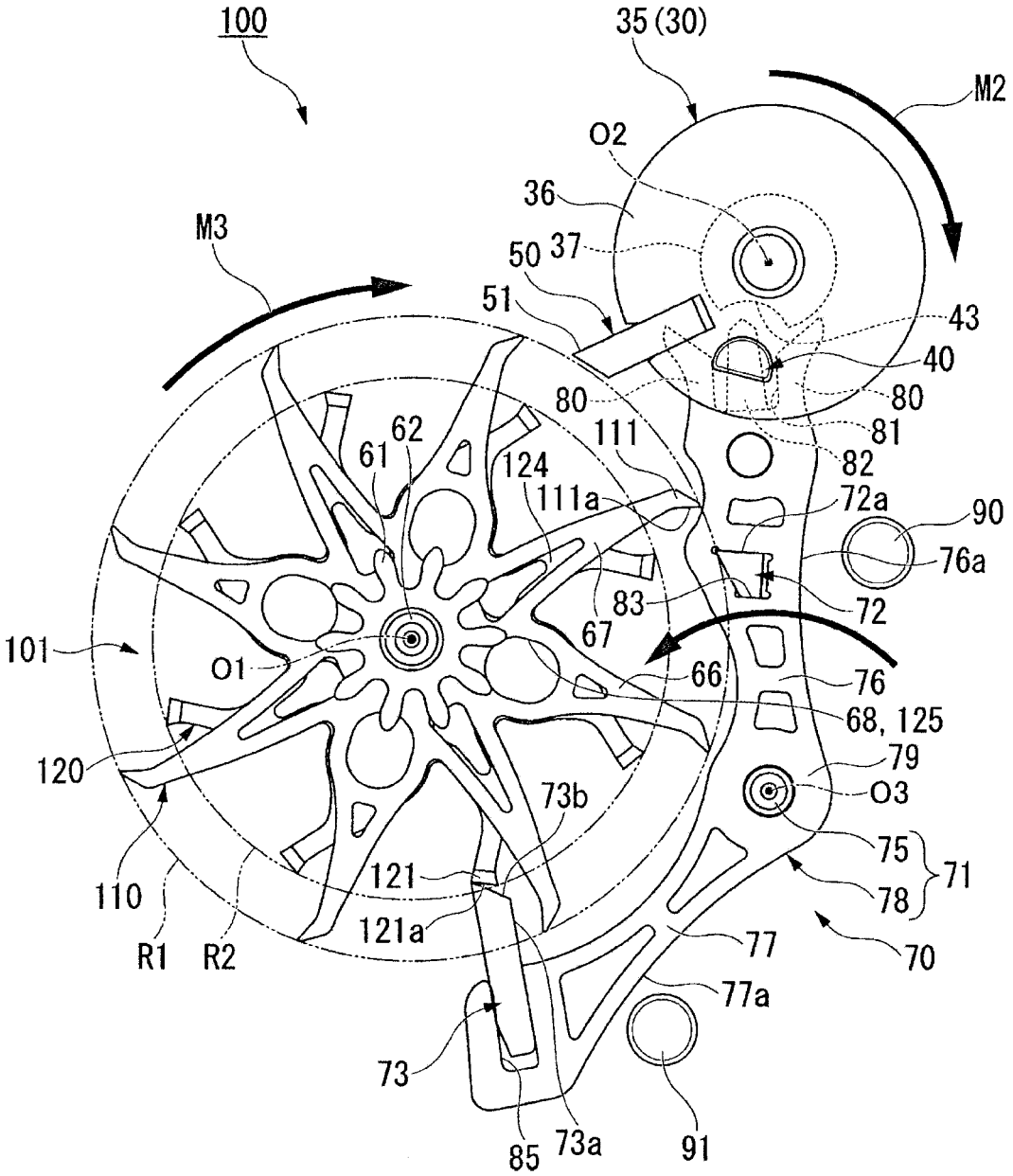

100
35 (30)
M2
O2
36
M3
50
37
51
43
40
80
80
81
82
111
62
61
124
111a
72a
90
76a
83
72
67
101
O1
66
76
68, 125
120
79
O3
73b
75
71
78
121
110
121a
77
70
R1
R2
77a
73
85
73a
91

FIG. 26

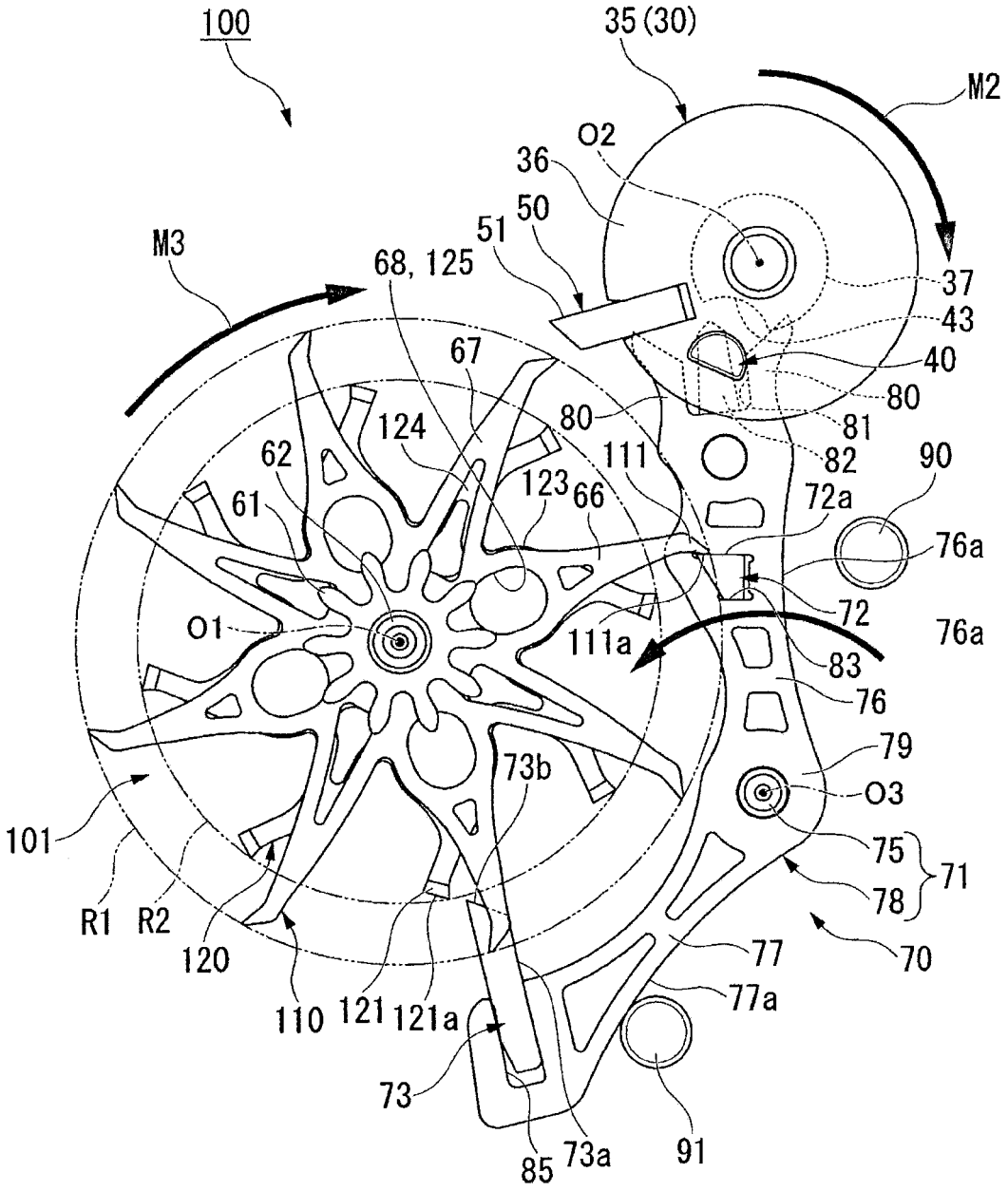

100
35 (30)
M2
O2
36
50
51
M3
68, 125
37
43
40
80
81
82
90
67
124
80
111
62
61
123
66
72a
76a
O1
111a
72
76a
83
76
79
73b
O3
101
75
71
78
R1
R2
120
77
70
110
121
121a
77a
73
85
73a
91

FIG. 27

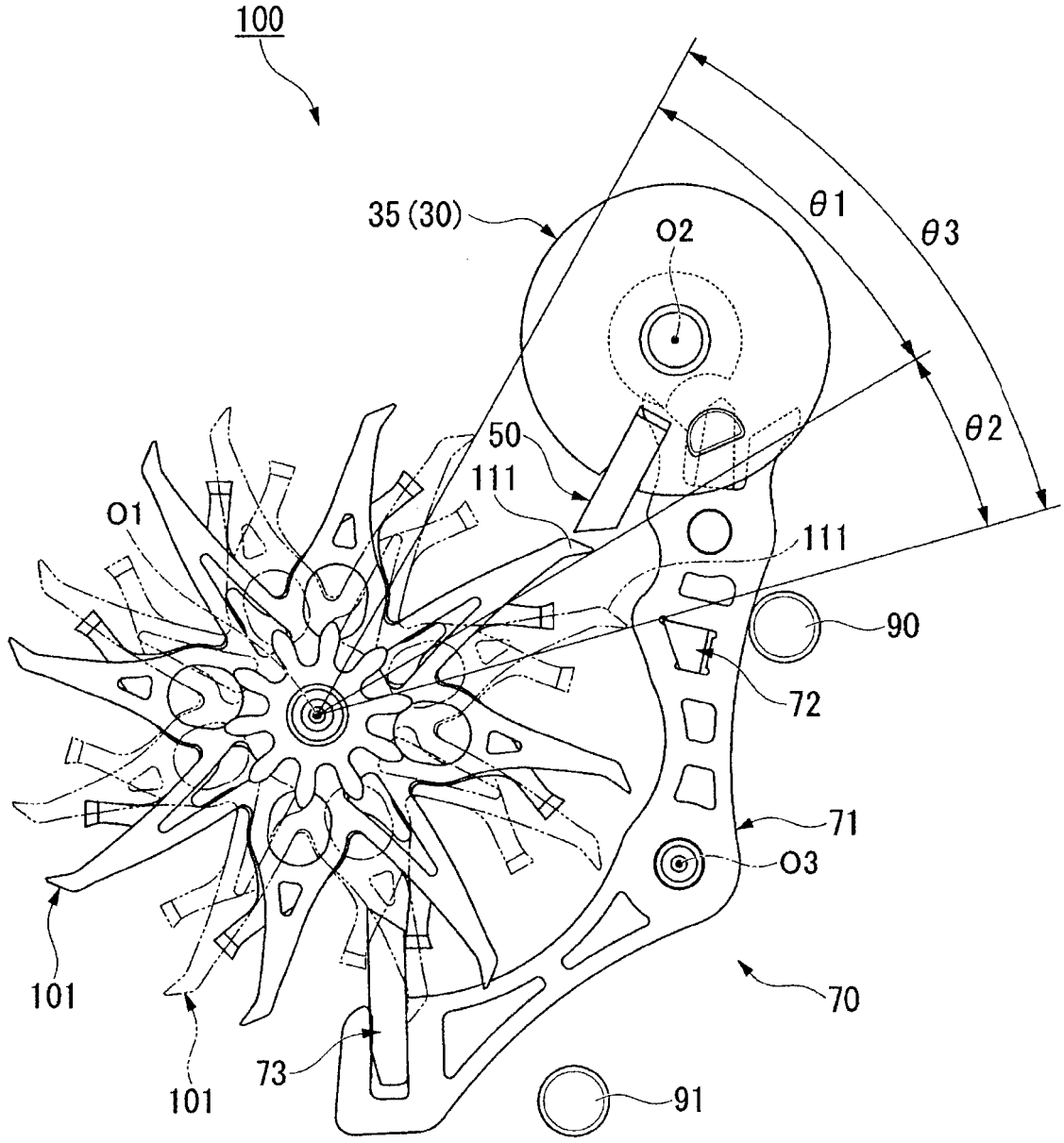


FIG. 28

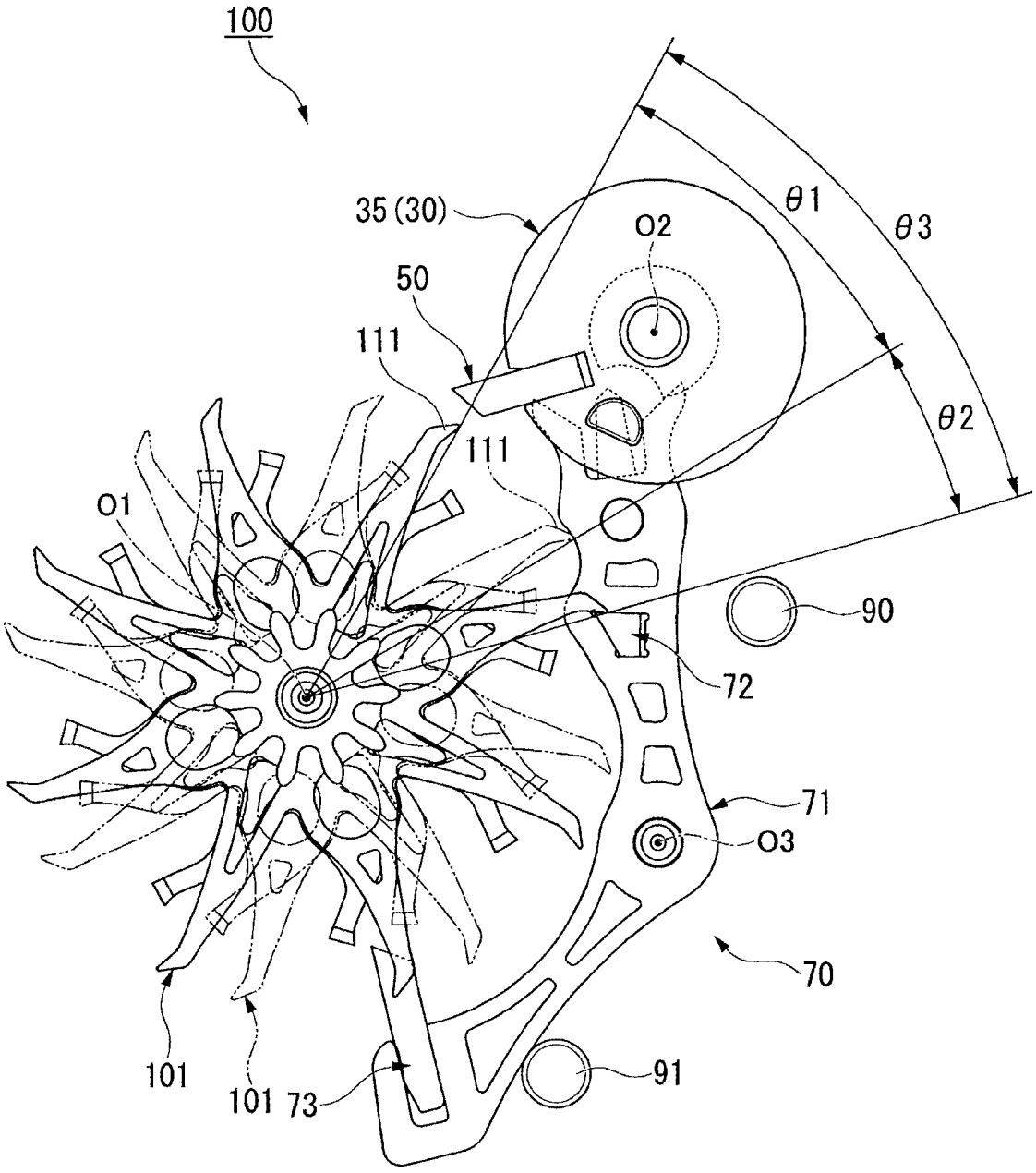


FIG. 29

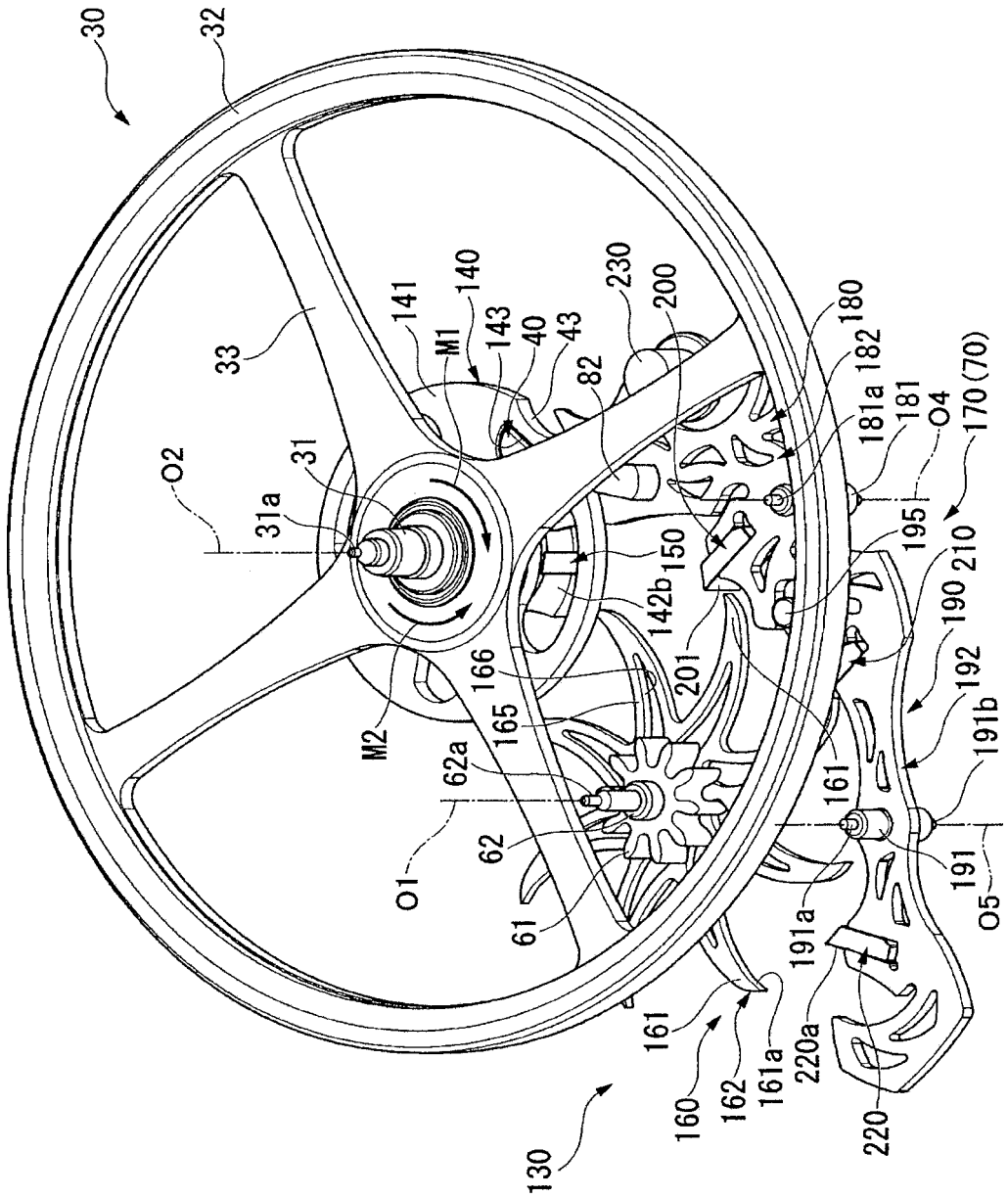

30
32
33
31
31a
O2
141
140
M1
143
40
43
82
230
200
180
182
181a
181
O4
170 (70)
195
210
190
192
191b
150
142b
201
166
165
M2
62a
62
O1
61
161
191
O5
191a
220a
220
161
161a
162
160
130

FIG. 30

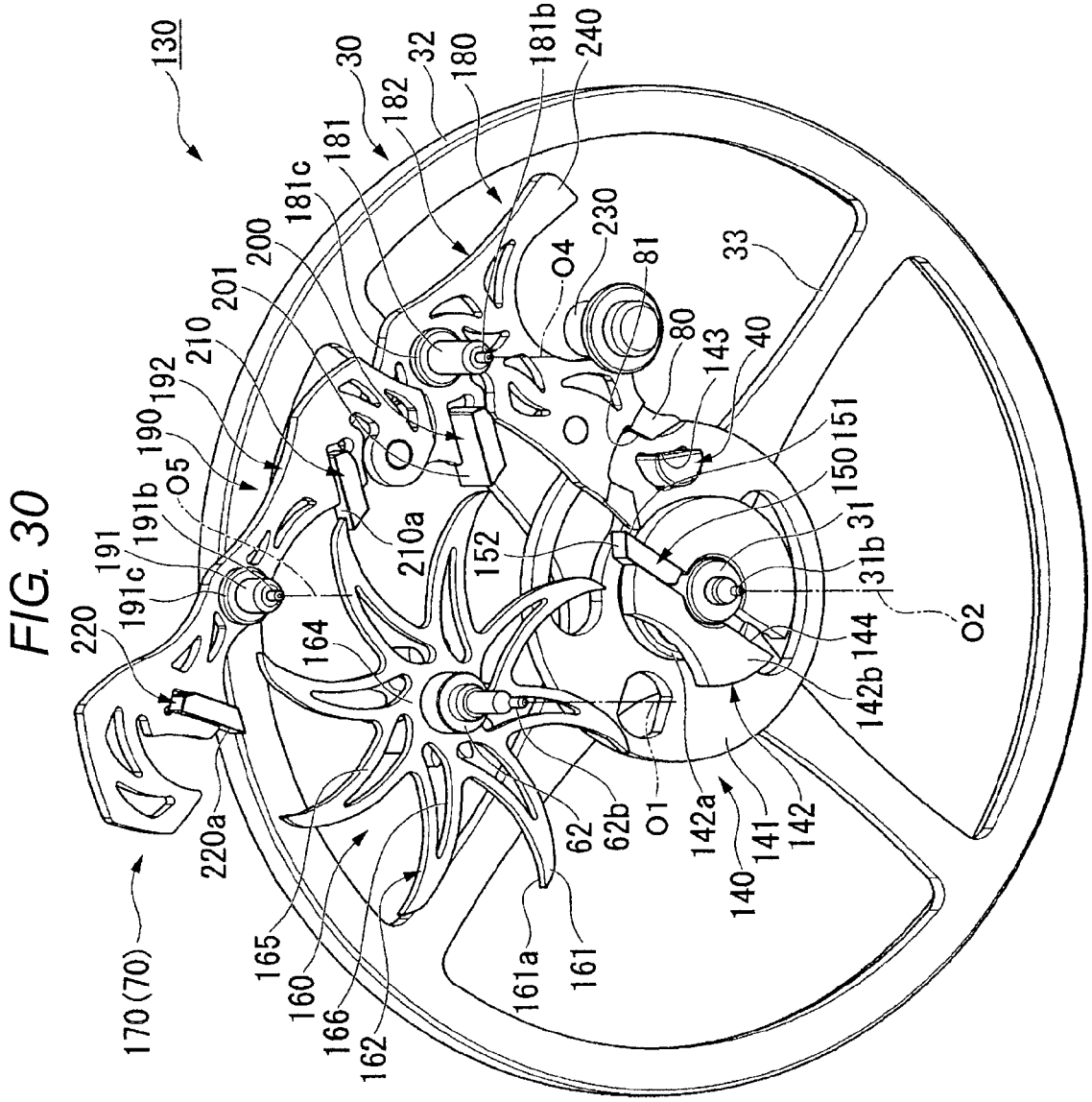

130
30
32
180
181b
240
182
181
181c
200
201
210
192
190
191
191b
191c
220
220a
170 (70)
O5
164
165
160
166
162
210a
152
O4
230
81
80
143
40
33
151
150
31
31b
O2
144
142b
142a
141
142
140
62
62b
O1
161a
161

FIG. 31

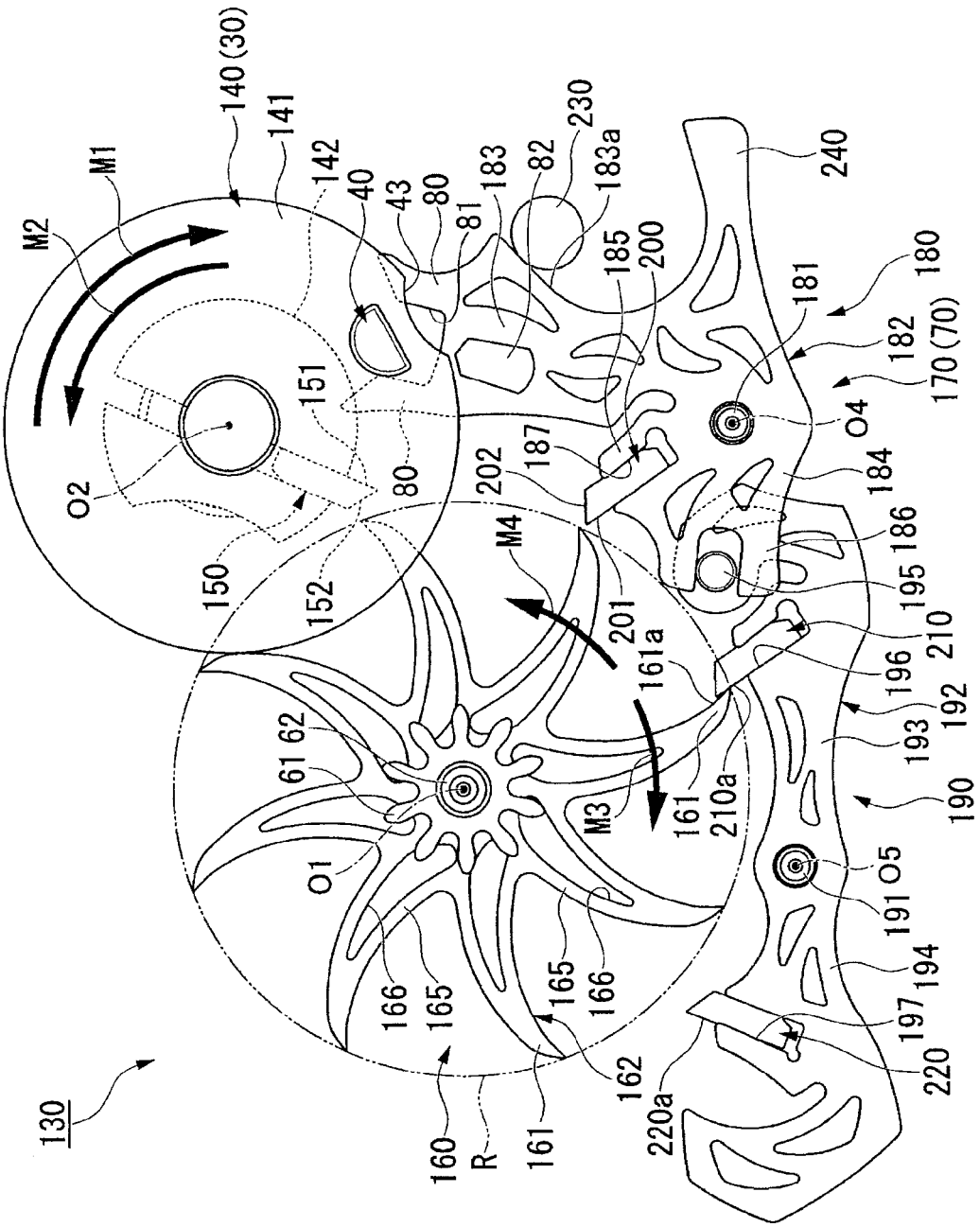

130
140 (30)
141
142
M1
M2
40
43
80
81
183
82
230
183a
240
185
200
181
180
182
170 (70)
O4
151
O2
80
150
152
187
202
184
186
195
M4
201
210
196
161a
192
193
190
61
62
O1
M3
161
210a
O5
191
194
197
220
220a
166
165
165
166
162
160
R
161

FIG. 32

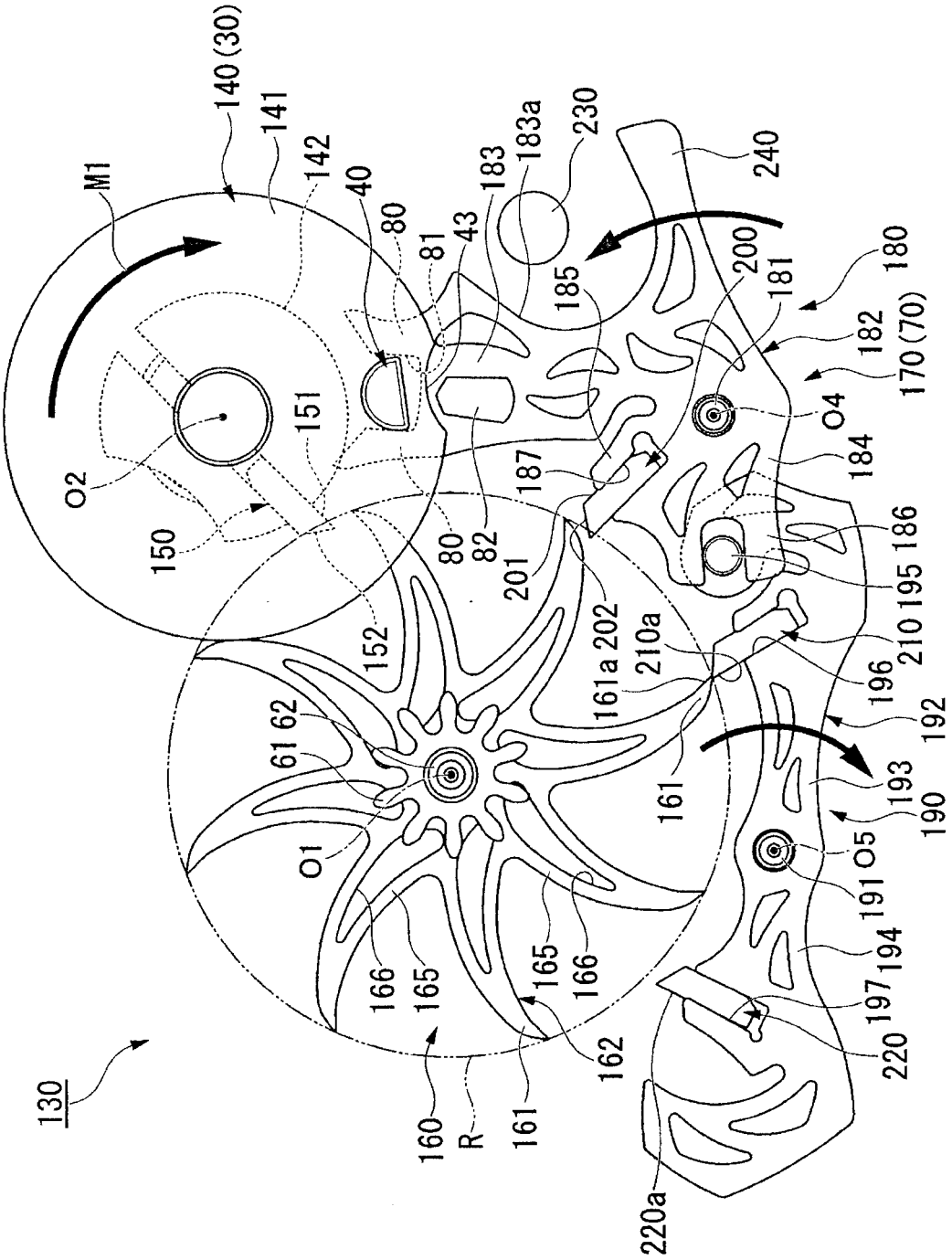

130
140 (30)
141
142
M1
40
80
81
43
183
183a
230
240
185
200
181
180
182
170 (70)
O4
184
187
186
195
210
196
192
193
190
O5
191
194
197
220
220a
O2
150
151
152
80
82
201
202
210a
161a
161
61
62
O1
166
165
165
166
162
160
R
161

FIG. 33

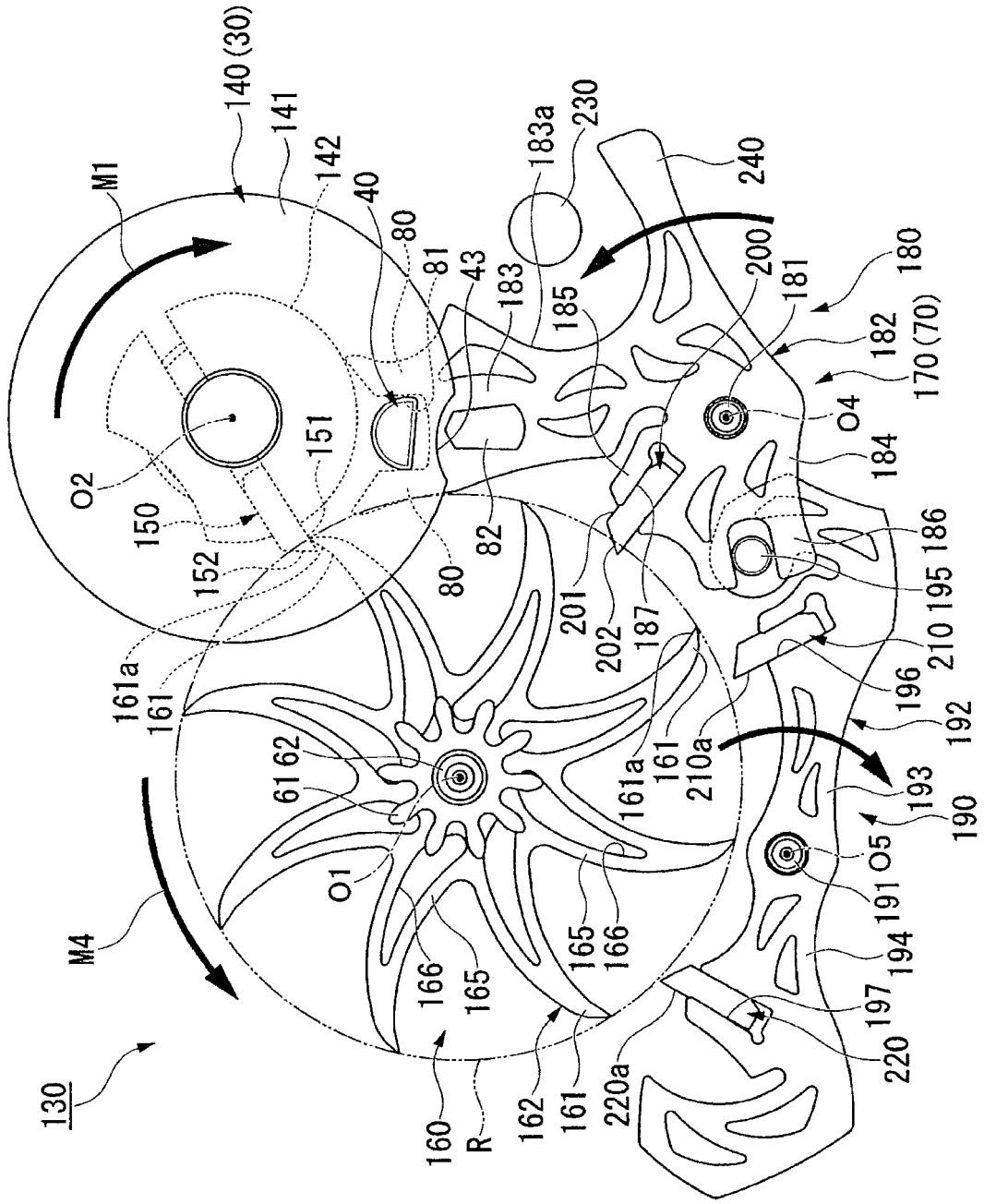

130
M1
M4
140 (30)
141
142
40
80
81
43
183
183a
230
240
185
200
181
180
182
170 (70)
O4
184
186
195
210
196
192
193
190
O5
191
194
197
220
220a
210a
161
161a
187
202
201
82
80
151
150
152
O2
161a
161
61
62
O1
166
165
165
166
160
R
162
161

FIG. 34

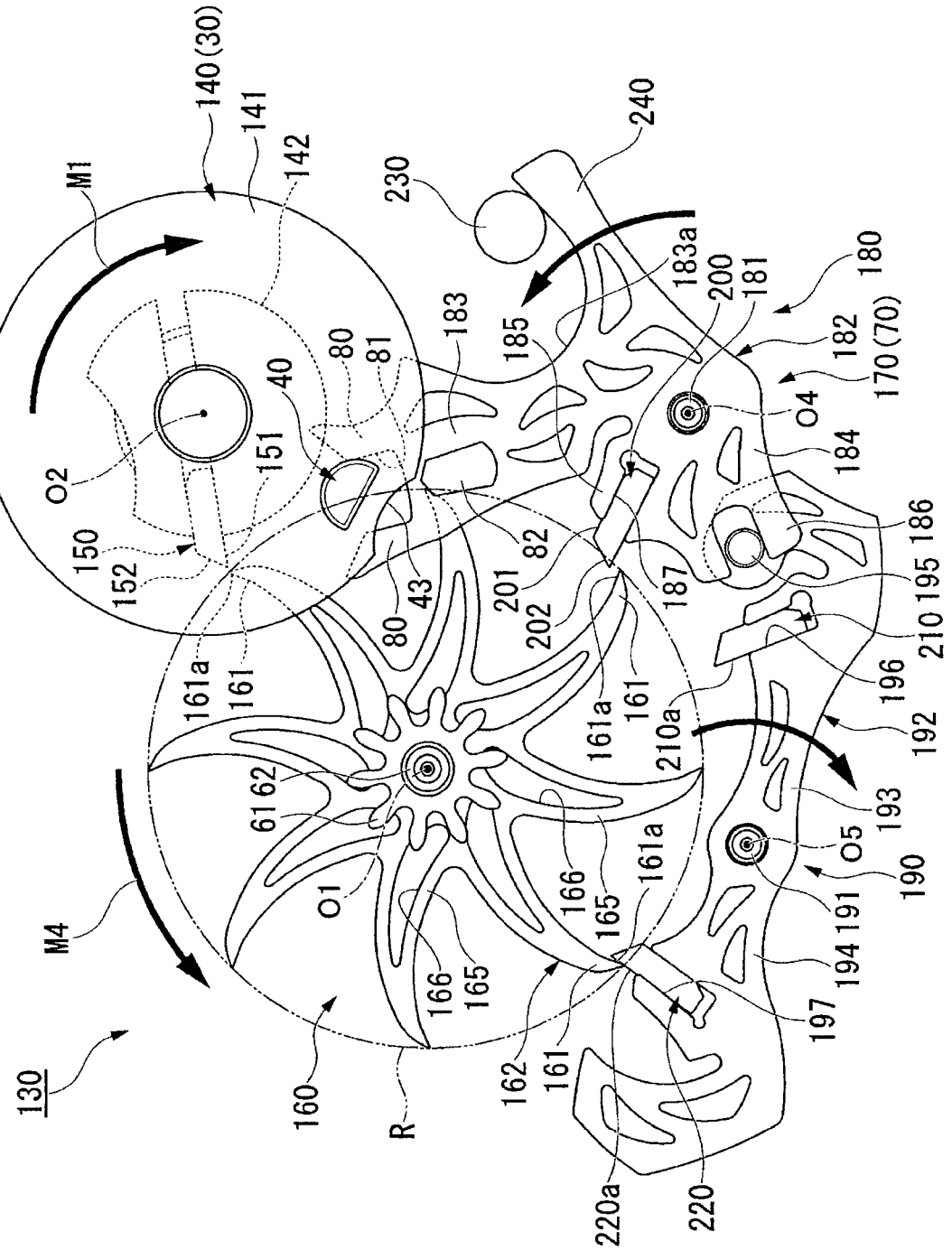

130
M1
M4
140 (30)
141
142
150
151
152
O2
40
80
81
183
185
183a
200
181
180
182
170 (70)
O4
184
186
195
210
196
192
193
O5
190
191
194
197
220
220a
210a
161
161a
202
201
82
43
80
187
61
62
O1
166
165
162
160
R
230
240

FIG. 35

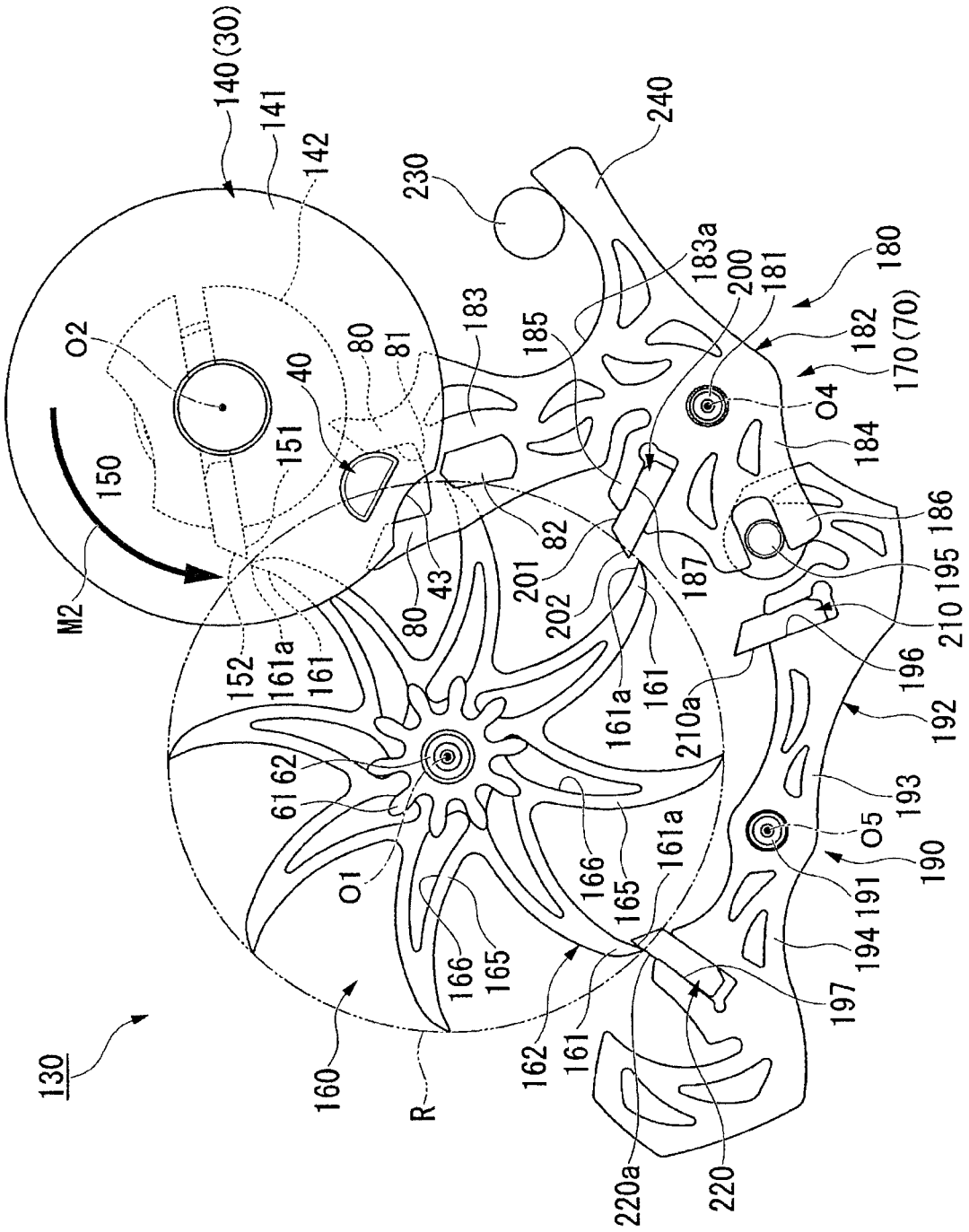

130
140 (30)
141
142
O2
150
M2
151
40
80
81
183
185
183a
200
181
180
182
170 (70)
O4
184
186
195
210
196
192
193
O5
190
191
194
197
220
220a
162
161
R
160
166
165
O1
61
62
152
161a
161
43
82
201
202
187
210a

FIG. 36

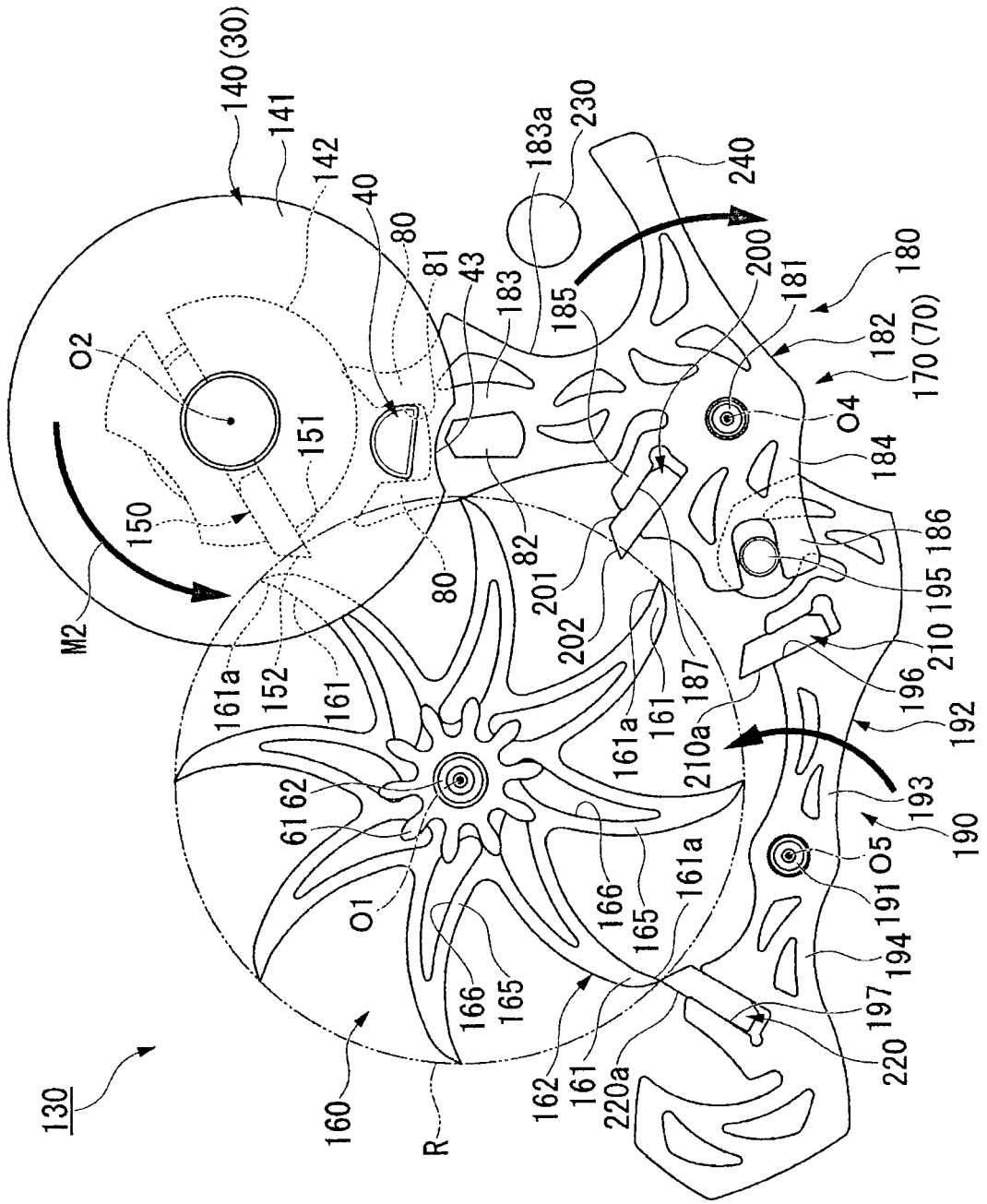

130
140 (30)
141
142
40
80
81
43
183
183a
230
240
185
200
181
180
182
170 (70)
O4
184
186
195
210
196
192
193
190
O5
191
194
197
220
220a
162
161
166
165
161a
O1
61
62
160
R
M2
150
151
152
161
161a
82
201
202
187
210a
O2

FIG. 37

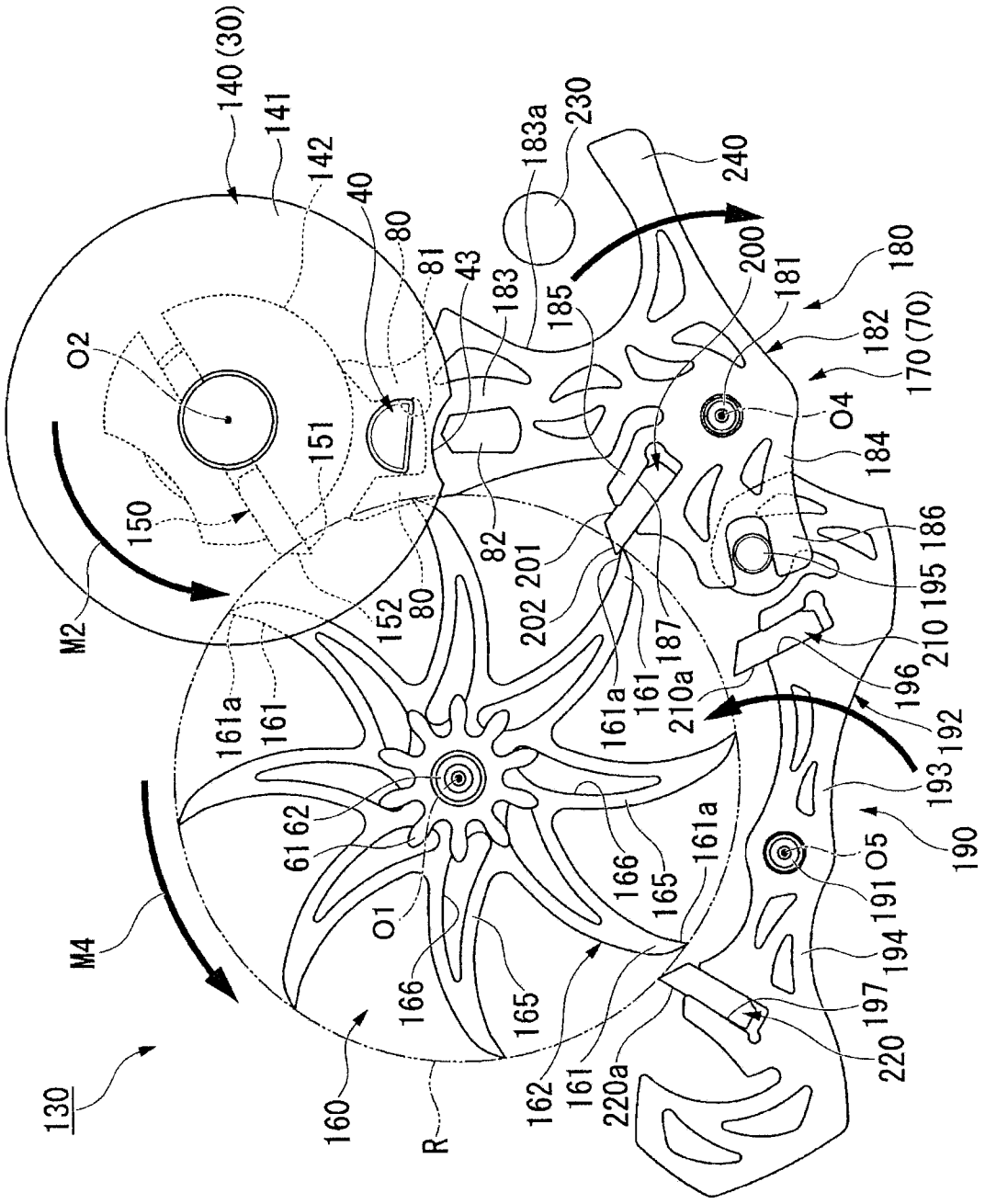

130
140 (30)
141
142
40
80
81
43
183
183a
230
240
185
200
181
180
182
170 (70)
O2
151
150
M2
152
80
82
201
202
187
161a
161
210a
O4
184
186
195
210
196
192
193
190
O5
191
194
197
220
220a
162
160
R
M4
O1
61
62
166
165
161a

FIG. 38

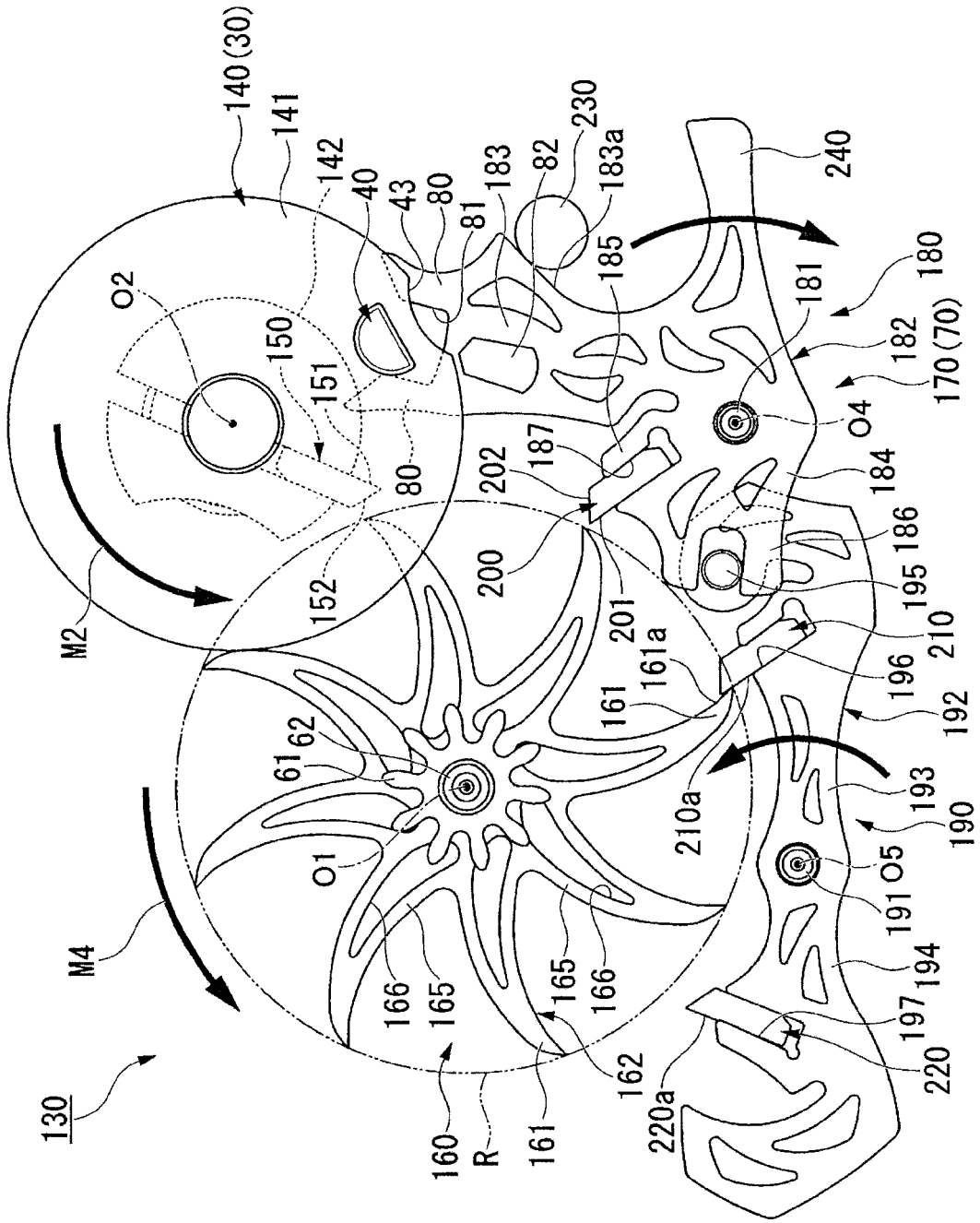

130
140 (30)
141
142
40
43
80
81
183
82
230
183a
240
185
180
181
182
170 (70)
O4
O2
150
151
80
187
202
184
186
200
201
195
210
152
M2
161a
196
161
192
62
61
210a
193
190
O1
O5
191
M4
166
165
165
166
194
197
220
220a
162
160
R
161

FIG. 39

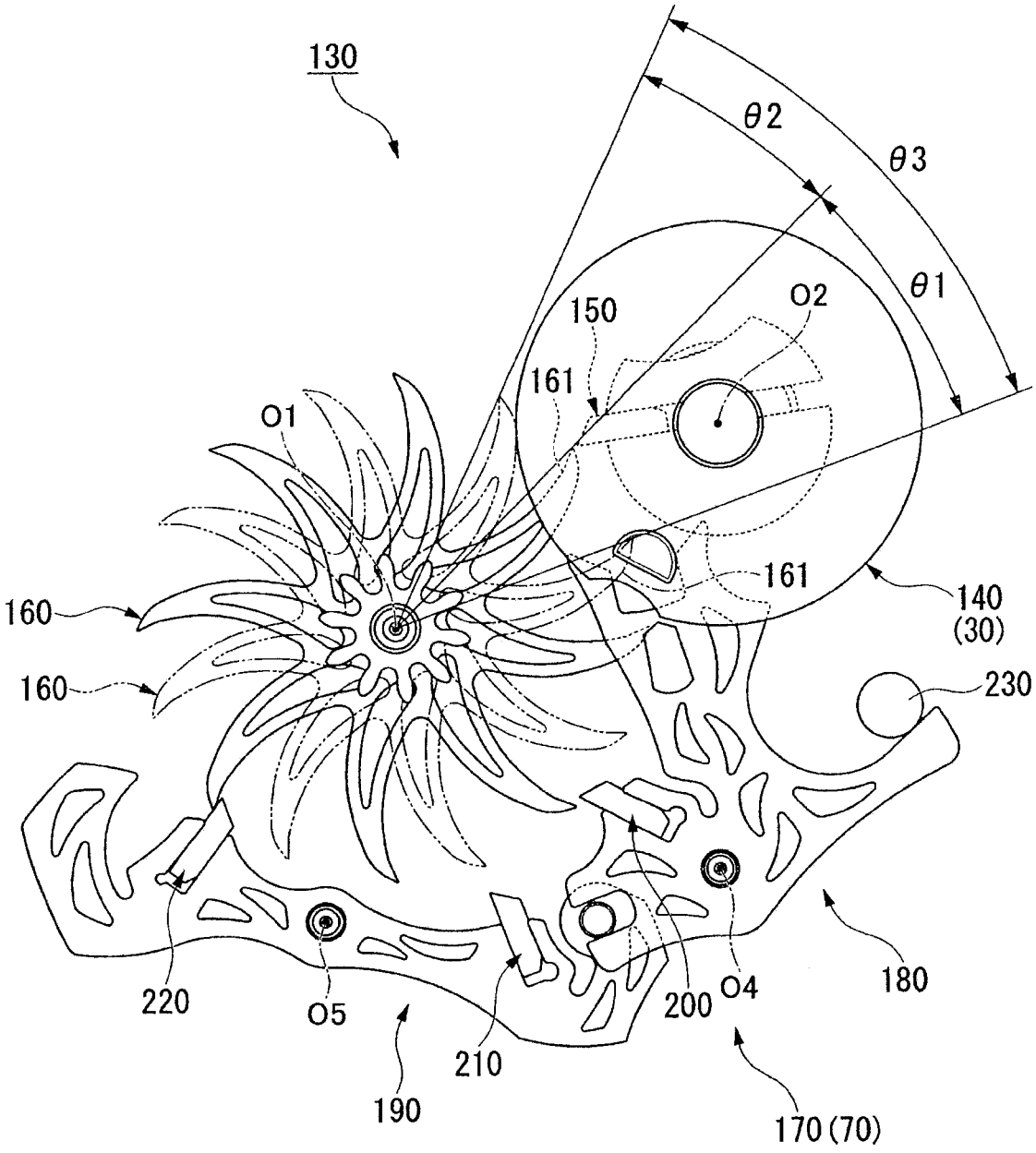

130
θ2
θ3
θ1
150
O2
161
O1
161
160
160
140
(30)
230
220
O5
190
210
200
O4
180
170 (70)

FIG. 40

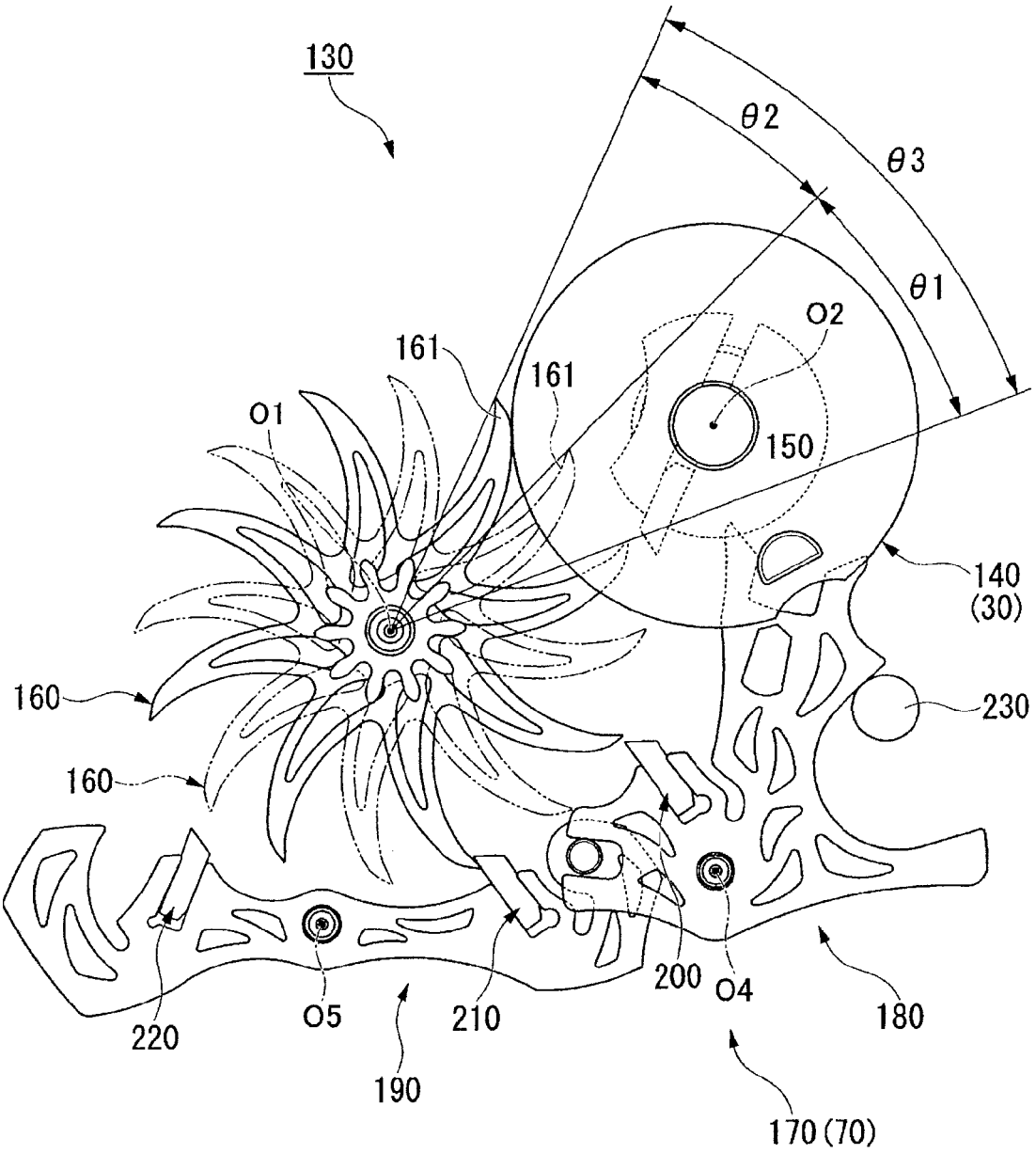

130
θ2
θ3
θ1
O2
161
161
O1
150
140
(30)
160
230
160
200
O4
180
220
O5
210
190
170 (70)

FIG. 41

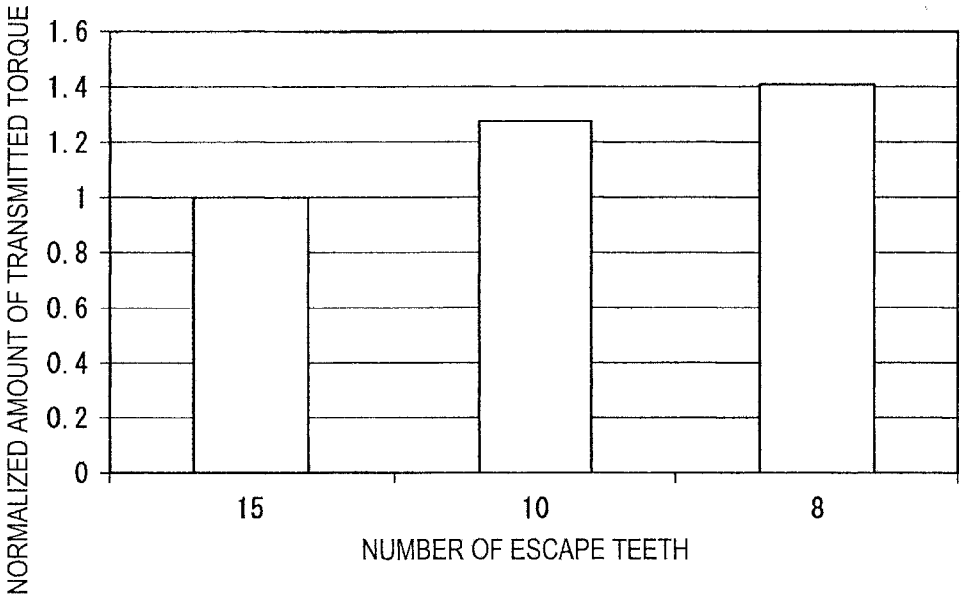
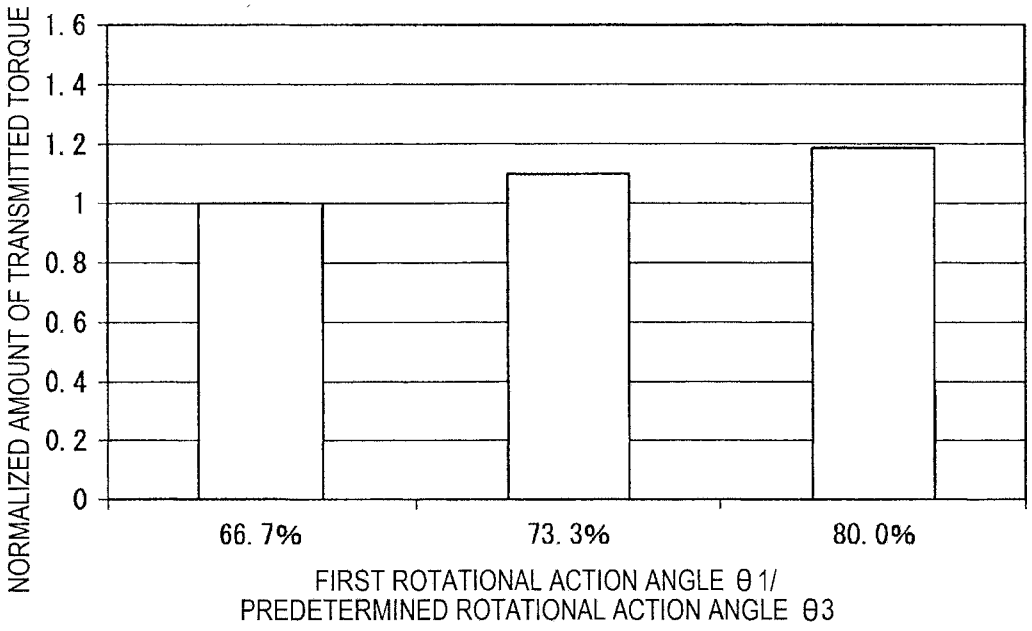

NORMALIZED AMOUNT OF TRANSMITTED TORQUE
1.6
1.4
1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
15
10
8
NUMBER OF ESCAPE TEETH

FIG. 42


NORMALIZED AMOUNT OF TRANSMITTED TORQUE
1.6
1.4
1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
66.7%
73.3%
80.0%
FIRST ROTATIONAL ACTION ANGLE θ1/
PREDETERMINED ROTATIONAL ACTION ANGLE θ3