



(12) **CERERE DE BREVET DE INVENȚIE**

(21) Nr. cerere: **a 2020 00042**

(22) Data de depozit: **02/08/2018**

(30) Prioritate:
02/08/2017 US 62/540, 444

(41) Data publicării cererii:
30/07/2020 BOPI nr. **7/2020**

(86) Cerere internațională PCT:
Nr. **US 2018/045007 02/08/2018**

(87) Publicare internațională:
Nr. **WO 2019/028252 07/02/2019**

(71) Solicitant:
• **BWXT ISOTOPE TECHNOLOGY GROUP,
INC., 800 MAIN STREET, LYNCHBURG,
VIRGINIA, VA 24504, US**

(72) Inventatori:
• **FISHER BENJAMIN D., 1305 SPRING
MOUNTAIN ROAD, LYNCHBURG,
VIRGINIA, 24503, US;**
• **ONDERWATER THOMAS G., 1160
MONAGHAN ROAD, PETERBOROUGH,
ONTARIO, K9J7B5, CA**

(74) Mandatar:
**ENPORA BRAND MANAGEMENT S.R.L.,
STR. GEORGE CĂLINESCU NR.52A, AP.1,
SECTOR 1, BUCUREȘTI**

(54) **IRADIEREA CU IZOTOP A CANALULUI DE COMBUSTIBIL
LA CENTRALA CARE FUNCȚIONEAZĂ LA PUTERE MAXIMĂ**

(57) Rezumat:

Invenția se referă la un procedeu pentru iradierea unui material țintă într-un reactor cu apă grea. Procedeu conform invenției include etapele de asigurare a unei ținte formate dintr-un material adecvat pentru producerea unui izotop prin intermediul unui eveniment de captare a neutronilor, plasarea ținte într-o parte cu lichid principal a reactorului cu apă grea, și iradierea ținte.

Revendicări: 18
Figuri: 17

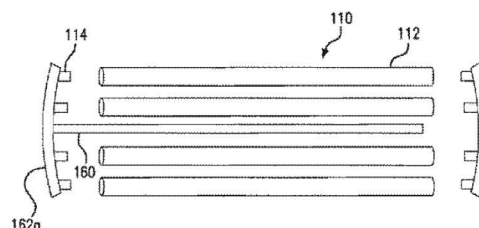


Fig. 14B



168

OFICIUL DE STAT PENTRU INVENȚII ȘI MĂRCI
Cerere de brevet de invenție
Nr. a 220 00042
Data depozit 02-08-2018

IRADIEREA CU IZOTOP A CANALULUI DE COMBUSTIBIL LA CENTRALA CARE FUNCȚIONEAZĂ LA PUTERE MAXIMĂ

DOMENIUL TEHNIC

[0001] Prezenta invenție dezvăluită se referă, în general, la sisteme pentru iradierea de ținte radioizotopi în reactoarele nucleare și, mai precis, la sisteme pentru iradierea de ținte radioizotopi în reactoarele nucleare de tip cu fisiune moderată cu apă grea.

STADIUL TEHNICII MONDIALE ÎN DOMENIUL INVENȚIEI

[0002] Tehnețiu-99m (Tc-99m) este cel mai frecvent utilizat radioizotop în medicina nucleară (de exemplu, imagistică medicală de diagnostic). Tc-99m (m este metastabil) este de obicei injectat într-un pacient și, atunci când este utilizat cu anumite echipamente, este utilizat pentru a reda imaginea organelor interne ale pacientului. Cu toate acestea, Tc-99m are o durată de înjumătățire de numai șase (6) ore. Ca atare, sursele De Tc-99m ușor disponibile prezintă un interes deosebit și/sau sunt necesare cel puțin în domeniul medicinei nucleare.

[0003] Având în vedere timpul scurt de înjumătățire al Tc-99m, Tc-99m se obține de obicei la locul și/sau momentul necesar (de exemplu, la o farmacie, spital etc.) prin intermediul unui generator Mo-99/Tc-99m. Generatoarele Mo-99/Tc-99m sunt dispozitive utilizate pentru extragerea izotopului metastabil al tehnețiului (de exemplu Tc-99m) dintr-o sursă de molibden în descompunere-99 (Mo-99) prin trecerea unei soluții saline prin materialul Mo-99. Mo-99 este instabil și se descompune cu o jumătate de viață de 66 de ore la Tc-99m. Mo-99 este de obicei produs într-un reactor nuclear de mare flux din iradierea țintelor de uraniu puternic îmbogățit (93% Uraniu-235) și expedit la unitățile de fabricare a generatorului Mo-99/Tc-99m după etapele de prelucrare ulterioare, pentru a reduce Mo-99 la o formă utilizabilă, cum ar fi molibdat de molibdat- de titan-99 (Ti-Mo99). Generatoarele Mo-99/Tc-99m sunt apoi distribuite din aceste locații centralizate către spitalele și farmaciile din întreaga țară. Întrucât Mo-99 are o durată scurtă de înjumătățire, iar numărul locurilor de producție existente este limitat, este de dorit atât reducerea la minimum a timpului necesar pentru reducerea materialului iradiat Mo-99 la o formă utilizabilă, cât și creșterea numărului de locuri în care poate avea loc procesul de iradiere.

[0004] Prin urmare, există în continuare necesitatea unui sistem și unui proces de producere a unui material molibdat de titan-99 care să corespundă utilizării în generatoarele Tc-99m într-o perioadă optimă.

DESCRIEREA INVENȚIEI PE SCURT

[0005] O modalitate de realizare a prezentei dezvoltări oferă un procedeu de iradiere a unui material țintă într-un reactor cu apă grea pentru producerea unui izotop, inclusiv etapele de asigurare a unei ținte compuse dintr-un material corespunzător pentru producerea izotopului prin intermediul unui eveniment de captură de neutron, plasând ținta într-o parte a fluidului principal al reactorului cu apă grea și iradierea țintei.

[0006] O altă modalitate de realizare a prezentei dezvoltări oferă un înlocuitor al unui fascicul de combustibil pentru iradierea unui material țintă într-un reactor cu apă grea pentru producerea unui izotop, înlocuitorul fasciculului de combustibil incluzând o multitudine de teci tubulare, fiecare teacă tubulară fiind paralelă cu o axă centrală longitudinală a înlocuitorului fasciculului de combustibil, o mulțime de capace de capăt, fiecare capac fiind amplasat pe un capăt corespunzător al unei teci tubulare, o pereche de plăci de capăt, plăcile fiind dispuse la capetele opuse ale pluralității de teci tubulare, plăcile de capăt fiind amplasate la capetele opuse ale mulțimii de teci tubulare și o primă țintă având în componență un prim material corespunzător pentru producerea izotopului prin intermediul unui eveniment de captură de neutron, în care prima țintă este amplasată într-o primă teacă tubulară a înlocuitorului fasciculului de combustibil.

[0007] Desenele însoțitoare, care sunt încorporate în prezenta specificație și constituie o parte a acesteia, ilustrează una sau mai multe modalități de realizare ale invenției și, împreună cu descrierea acesteia, servesc la explicarea principiilor invenției.

SCURTĂ DESCRIERE A DESENELOR

[0008] Invenția va fi descrisă acum mai în detaliu, cu referire la desenele însoțitoare, în care sunt prezentate unele, dar nu toate, modalitățile de realizare a invenției. Într-adevăr, această invenție poate fi aplicată în practică în multe forme diferite și nu trebuie interpretată ca fiind limitată la modalitățile de realizare prevăzute în prezentul document; dimpotrivă, aceste modalități de realizare sunt puse la dispoziție astfel încât această dezvoltare să satisfacă cerințele legale necesare.

[0009] Figurile 1A-1C sunt diferite vederi ale unui reactor de fisiune moderat cu apă grea și penetrările corespunzătoare ale recipientului;

[0010] Figurile 2A și 2B sunt o vedere în perspectivă și, respectiv, o vedere de ansamblu; a unui înlocuitor de fascicul de combustibil în conformitate cu modalitate de realizare a invenției actuale;

[0011] Figurile 3A și 3B sunt o vedere de perspectivă și, respectiv, o vedere în secțiune transversală, a unei ținte de radioizotop în conformitate cu o modalitate de realizare a invenției actuale;

[0012] Figurile 4A - 4J sunt vederi schematice ale unui proces de iradiere a țintei radioizotop, în conformitate cu modalități de realizare a invenției actuale;

[0013] Figurile 5A - 5I sunt vederi schematice ale unui proces de iradiere de radioizotop în conformitate cu o modalitate de realizare alternativă a invenției prezente;

[0014] Figurile 6A-6G sunt vederi în perspectivă ale unui sistem de transfer pentru mutarea înlocuitorilor de fascicul de combustibil iradiat într-un balon ecranat, în conformitate cu o modalitate de realizare a invenției prezente;

[0015] Figurile 7A și 7B sunt vederi în secțiune transversală a unei teci tubulare în conformitate cu tehnica anterioară din domeniu și a pastilelor de combustibil asociate, așa cum se găsesc în fasciculele de combustibil fisionabil cunoscute;

[0016] Figurile 8A și 8B sunt vederi parțiale ale secțiunilor transversale ale tecilor tubulare și ale capacelor lor de capăt corespondente, în conformitate cu o modalitate de realizare a invenției actuale;

[0017] Figurile 9A și 9B sunt vederi parțiale ale secțiunii transversale a modalității de realizare a tecii tubulare, prezentată în figura 8A;

[0018] Figura 10 este o vedere parțială a unui înlocuitor al fasciculului de combustibili în conformitate cu prezenta invenție, prezentând diferite mijloace de identificare a conținuturilor înlocuitorului fasciculului de combustibil;

[0019] Figurile 11A-11C sunt vederi în perspectivă ale plăcilor de capăt pentru înlocuitorii de fascicule de combustibil în conformitate cu modalități de realizare a invenției actuale;

[0020] Figura 12 este o vedere în secțiune transversală parțială a unei teci tubulare în conformitate cu tehnica anterioară din domeniu pentru un fascicul de combustibil fisionabil cunoscut;

[0021] Figura 13 este o vedere în secțiune transversală parțială a unei teci tubulare și a țintelor de iradiere asociate, în conformitate cu o modalitate de realizare a invenției actuale;

[0022] Figurile 14A-14C sunt vederi laterale ale diferitelor componente ale înlocuitorilor de fascicule de combustibil modulare în conformitate cu modalități de realizare a invenției prezente;

[0023] Figurile 15A - 15D sunt vederi parțial în perspectivă ale unei teci tubulare și capacul de capăt corespunzător al unui înlocuitor de fascicul de combustibil modular, în conformitate cu o modalitate de realizare a invenției actuale;

[0024] Figurile 16A-16C sunt vederi descompuse parțial în perspectivă ale tecilor tubulare și capacelor lor de capăt corespondente pentru utilizare cu înlocuitori de fascicule de combustibil modulare, în conformitate cu modalități de realizare a invenției prezente; și

[0025] Figura 17A-17C sunt vederi descompuse, parțial în perspectivă ale tecilor tubulare și ale capacelor lor de capăt corespondente pentru utilizare cu înlocuitoare de fascicule de combustibil modulare, în conformitate cu modalități de realizare a invenției prezente

[0026] Utilizarea repetată a simbolurilor de referință în prezenta specificație și în desene are scopul de a reprezenta aceleași detalii sau detalii analoge sau elemente ale invenției în conformitate cu dezvăluirea.

DESCRIEREA MODALITĂȚILOR DE REALIZARE PREFERATE

[0027] În continuare se va face referire la modalități de realizare preferate ale invenției, dintre care unul sau mai multe exemple sunt ilustrate în desenele însoțitoare. Fiecare exemplu este furnizat ca o explicație, nu ca o limitare, a invenției. De fapt, specialiștilor în tehnica din domeniu le va fi evident că modificări și variații pot fi făcute la invenția actuală fără ca prin aceasta să se depărteze de la domeniul de aplicare și spiritul acesteia. De exemplu, caracteristicile ilustrate sau descrise ca parte a unei modalități de realizare pot fi folosite pe o altă modalitate de realizare pentru a produce o a treia modalitate de realizare. Astfel, se intenționează ca prezenta invenție să acopere modificările și variațiile care intră în domeniul de aplicare al revendicărilor anexate și echivalentelor acestora.

[0028] Referindu-ne acum la figuri, prezenta dezvăluire se referă la dispozitive și procedee pentru iradierea țintelor de radioizotopi pentru producția de radioizotopi, după cum sunt aceștia utilizați în medicina nucleară. Mai precis, referindu-ne acum la figuri,

iradierea țintelor de radioizotopi 122 (Figurile 3A și 3B) se produce de preferință într-un canal de alimentare de combustibil 102 al unui reactor cu fisiune nucleară moderat de apă grea corespondent 100 (cum ar fi un reactor CANDU (CANada uraniu deuteriu) reactor prezentat în Figurile 1A-1C). De preferință, materialele care urmează să fie iradiate, cum ar fi Mo-99, sunt conținute într-un înlocuitor de fascicul de combustibil 110, după cum se arată în Figurile 2A și 2B. De reținut, prezentul procedeu de iradiere a materialelor prezintă un interes special pentru materialele care au perioade extinse de iradiere, cum ar fi Lutețiu-177. Pentru modalitatea de realizare prezentă, fasciculul de combustibil înlocuitor 110 diferă în principal de un fascicul tradițional de combustibil care include materialul fisionabil prin aceea că materialul fisionabil este înlocuit cu materialul radioizotop care urmează să fie iradiat. Ca atare, înlocuitorul pentru fasciculul de combustibil 110 include o multitudine de teci tubulare 112 care se întind între două plăci de capăt opuse 120. Capătul fiecărei teci tubulare 112 este închis printr-un capac de capăt 114 care este sudat pe o placă de capăt corespondente 120. Fasciculul de combustibil înlocuitor 110 este realizat folosind aceleași materiale, cum ar fi zirconiu, și metodologii care sunt utilizate în prezent pentru construirea fasciculelor de combustibil fisionabil 121. Deoarece aceste procedee și materiale sunt bine cunoscute, din motive de concizie, ele nu sunt abordate în detaliu aici.

[0029] Referindu-ne acum la Figurile 3A și 3B, materialul țintă pentru radioizotopi care este introdus în tecile tubulare corespondente 112 din fasciculul de combustibil înlocuitor 110 este furnizat sub formă de ținte individuale 122. Fiecare țintă include o capsulă exterioară închisă 124 în care este amplasat materialul țintă 126. De preferință, capsula exterioară 124 este construită din materialul țintă, iar diametrul exterior al capsulei exterioare 124 permite scoaterea rapidă a țintelor din tecile tuburilor 112 după iradiere prin alunecare. Notă, în cazul unei modalități de realizare alternative, materialul țintă poate fi introdus în tecile tubulare 112 fără utilizarea unei capsule exterioare, adică este introdus direct în interiorul tecilor tubulare. În plus, materialul radioactiv țintă, care este preferabil de tip Mo-99, poate fi sub formă de pulbere, plachete, discuri inelare, pelete etc.

[0030] Fiecare înlocuitor de fascicul de combustibil 110 este introdus într-un tub de presiune 104 (figura 4A) dintr-un canal de combustibil corespunzător 102, aflat pe partea

cu lichid principal a reactorului 100, cu o mașină de alimentare existentă 106 a reactorului 100. După cum se arată în figura 1C, mașina de alimentare 106 include o mașină de încărcare 109 și o mașină de acceptare 108, fiecare dintre acestea fiind configurată să interacționeze cu un set corespunzător de fittinguri de capăt ale canalelor de combustibil 103a și, respectiv, 103b, care sunt dispuse la capete opuse ale mulțimii tuburilor sub presiune 104. După cum se arată în figura 1C, mașina de alimentare 109 este amplasată în partea „amonte” a zonei active a reactorului 101 (ceea ce înseamnă că lichidul de răcire principal trece prin zona activă a reactorului 101 de la stânga la dreapta, după cum se arată în figura 1C) și accesează fiecare tub de presiune 104 prin intermediul unui fitting de capăt al canalului de combustibil corespunzător 103a, în timp ce mașina pentru acceptare 108 este amplasată pe partea „aval” a miezului reactorului 101 și accesează tubul de presiune dorit 104 prin fittingul final al canalului de combustibil corespunzător 103b. Fiecare înlocuitor de fascicul de combustibil 110 este introdus și amplasat în canalul de combustibil corespunzător 102 împreună cu alți înlocuitori de fascicule de combustibil 110, fascicule de combustibil fisionabil și substituenți nefisionabili 133 (figura 4A) de către instalația de alimentare existentă 106 a reactorului 100.

[0031] După o perioadă de rezidență adecvată în câmpul fluxului miezului reactorului 101 pentru ca materialul să fie iradiat, fiecare înlocuitor de fascicul de combustibil 110 este eliminat din canalul său de combustibil corespunzător 102 utilizând mașina de acceptare 108 și mașina de încărcare 109, după cum se arată mai jos. Înlocuitorii de fascicule de combustibil post-iradiat 110 sunt transportați într-un loc de ieșire aprobat, într-un port de manipulare a combustibilului existent (de exemplu, combustibil uzat, auxiliar, întreținere) sau într-un dispozitiv construit în scop special, cum ar fi un balon ecranat 130 montat pe cărucior (prezentat în Figurile 6A până la 6G). Balonul ecranat 130 permite utilizarea mai multor căi atunci când se transferă înlocuitorii de fascicul de combustibil iradiat 110 din echipamentul de tratare a combustibilului (și anume, mașina de alimentare 106) în laboratoare și/sau instalații de prelucrare aflate în amplasamentul complexului de reactoare. Utilizarea sistemelor existente de tratare a combustibilului [de exemplu, mașina de alimentare 106, căruciorul 131 (figura 6A), transportorul 134 (figura 6A), porturile de combustibil noi și iradiate (nu sunt prezentate în figură) etc.] permite recoltarea rapidă pe linie a înlocuitorilor fasciculelor de combustibil iradiat 110 în timpul

operațiunilor la putere maximă ale reactorului 100. În plus, datorită faptului că înlocuitorii de fascicule de combustibil preferați 110 sunt construiți în mod similar cu fasciculele de combustibil fisionabil prezente și sunt manipulate folosind echipamente existente de manipulare a combustibilului, în special, mașina de acceptare 108 și mașina de încărcare 109, metodologiile de manipulare a înlocuitorilor fasciculelor de combustibil 110 sunt testate în timp.

[0032] Dacă ne referim acum la figurile de la 4A la 4J, în conformitate cu un exemplu de procedeu pentru iradierea țintelor radioizotopi amplasate într-un înlocuitor de fascicul de combustibil 110a, mașina de acceptare 108 a echipamentului de manipulare a combustibilului din reactor este încărcată cu un prim „semi-șir” de fascicule nefisionabile 133a, după cum se arată în figura 4A. După cum se arată în figura 4B, primul semi-șir de fascicule nefisionabile 133a este introdus în tubul de presiune 104 al unui canal de alimentare dedicat 102 al miezului reactorului 101 într-un mod „combustibil contra curgerii”. Termenul „combustibil împotriva curgerii” înseamnă că fasciculele sunt îndemnate în tubul de presiune 104 al miezului reactorului 101 în direcția opusă curgerii lichidului de răcire principal, lichidul de răcire principal din exemplul de față trecând de la stânga la dreapta, după cum indică săgețile 107. Mașina de acceptare 108 și mașina de încărcare 109 accesează canalul de alimentare dorit 102 prin intermediul racordurilor finale corespondente ale canalelor de alimentare 103b și 103a.

[0033] După cum se arată în figura 4C, mașina de acceptare 108 este încărcată cu înlocuitorul fasciculului de combustibil 110a, care include o pluralitate de ținte Mo-99 neiradiate 122 (figura 3A) și o a doua jumătate de șir suplimentar de fascicule nefisionabile 133b. Fasciculele nefisionabile 103a și 103b ajută la poziționarea înlocuitorului fasciculului de combustibil 110a în locul dorit în canalul de combustibil 102 și, prin urmare, în zona activă a reactorului 101. Poziția dorită în canalul de combustibil 102 depinde în principal de intensitatea câmpului fluxului din zona activă a reactorului 101. De asemenea, fasciculele nefisionabile contribuie la menținerea curgerii lichidului principal uniform prin tubul de presiune 104 corespunzător. Apoi, înlocuitorul fasciculului de combustibil 110a este introdus în tubul de presiune 104 în modul “combustibil contra curgerii”, după cum se arată în figura 4D, urmat de introducerea celui de-al doilea semi-

șir de fascicule nefisionabile 133b în modul "combustibil contra curgerii", după cum se arată în figura 4E.

[0034] După ce înlocuitorul fasciculului de combustibil 110a este iradiat în câmpul fluxului miezului reactorului 101 pentru o perioadă de timp adecvată, care este determinată pe baza tipului de material radioactiv utilizat (de exemplu, șapte zile pentru Mo-99), după cum se arată în figura 4F, mașina de acceptare 108 este încărcată cu următorul înlocuitor al fasciculului de combustibil 110b pentru a fi iradiat, după cum se arată în figura 4G.

[0035] După cum se arată în figura 4H, al doilea semi-șir de fascicule nefisionabile 133b este descărcat în modul "combustibil în direcția curgerii", ceea ce înseamnă că fasciculele nefisionabile ies din tubul de presiune 104 în aceeași direcție cu curgerea 107 a lichidului principal, urmat de înlocuitorul fasciculului de combustibil uzat iradiat 110a.

[0036] După cum se arată în figura 4I, noul înlocuitor de fascicul de combustibil neiradiat 110b se introduce utilizând procedeul „combustibil contra curgerii”, urmat de al doilea semi-șir de fascicule nefisionabile 133b introdus în tubul de presiune 104 al canalului de alimentare 102 în modul "combustibil contra curgerii", după cum se arată în figura 4J. După cum s-a menționat anterior, fasciculele nefisionabile 133a și 133b ajută la poziționarea înlocuitorilor de fascicule de combustibil 110a și 110b în locurile dorite și, de asemenea, ajută la menținerea unei distribuții corespunzătoare a curgerii lichidului principal prin tuburile de presiune 104. Procedeul descris mai sus poate fi repetat în mod continuu în timpul funcționării la putere maximă a reactorului 100. Notă, după cum se descrie mai sus, în miezul reactorului 101 este iradiat în orice moment un singur înlocuitor de fascicul de combustibil 110. În procedeele alternative, numărul de înlocuitori de fascicule de combustibil 110 care pot fi iradiate în mod activ poate varia după cum se dorește, funcție de programul dorit de recoltare a țintelor radioizotopice iradiate. În cazul în care este dorit să se producă mai puține ținte decât cele conținute într-un înlocuitor de fascicul de combustibil complet încărcat, materiale de umplere pot fi utilizate în locul unei porțiuni din țintele de radioizotopi.

[0037] Dacă ne referim acum la figurile 5A-5I, un alt exemplu de procedeu de iradiere a țintelor radioizotopice în înlocuitorii de fascicul de combustibil 110 este un procedeu de „utilizare continuă”, utilizând un canal de combustibil specific 104 al miezului reactorului 101. Referindu-se acum la figura 5A, mașina de acceptare 108 a echipamentului de

încărcare cu combustibil a reactorului 106 este încărcată pentru prima dată cu un prim set de patru înlocuitori de fascicule de combustibil 110a, care includ, de preferință, ținte Mo-99. De asemenea, mașina de acceptare 108 este încărcată cu opt fascicule nefisionabile 133. La fel ca în procedeul descris anterior, fasciculele nefisionabile 133 ajută la poziționarea înlocuitorilor de fascicule de combustibil în locul dorit și la menținerea unei distribuții adecvate a fluxului fluidului principal prin tuburile de presiune 104 din miezul reactorului 101. Mașina de acceptare 108 și mașina de încărcare 109 accesează canalul de alimentare dorit 102 prin intermediul racordurilor finale corespondente ale canalelor de alimentare 103b și 103a.

[0038] Astfel, după cum se arată în figura 5B, primii patru înlocuitori de fascicule de combustibil 110a sunt încărcăți în modul „combustibil contra curgerii”, care este apoi urmat de introducerea celor opt fascicule nefisionabile 133 în tubul de presiune 104 al canalului de alimentare cu combustibil 102 utilizând de asemenea procedeul "combustibil contra curgerii", după cum se arată în figura 5C.

[0039] Făcând referire la figura 5D, mașina de încărcare 109 este încărcată apoi cu un al doilea set de patru înlocuitori de fascicule suplimentare de combustibil 110b, care includ, de asemenea, mai multe ținte neiradiate Mo-99. După cum se arată în figura 5D, pe măsură ce mașina de încărcare 109 introduce al doilea set de înlocuitori de fascicule de combustibil 110b în tubul de presiune 104 în modul "combustibil în sensul curgerii", mașina de acceptare 108 îndepărtează patru dintre fasciculele nefisionabile 133 în modul "combustibil în sensul curgerii" (Figura 5E).

[0040] După cum se arată în figura 5F, mașina de încărcare 109 este încărcată ulterior cu un al treilea set de patru înlocuitori de fascicule de combustibil suplimentare, de exemplu, înlocuitorii 110c, care sunt apoi introduși de mașina de alimentare 109 în tubul de presiune 104 în modul „combustibil în sensul de curgere”. Pe măsură ce cel de-al treilea set de patru înlocuitori de fascicule de combustibil 110c este introdus, mașina de acceptare 108 îndepărtează fasciculele nefisionabile rămase 133, după cum se arată în Figura 5G.

[0041] După cum se arată în figura 5H, fiecare fascicul din tubul de presiune 104 este în prezent un înlocuitor de fascicul de combustibil 110a, 110b și 110c, inclusiv țintele iradiate Mo-99. De asemenea, după cum se arată în figura 5H, mașina de încărcare 109

este încărcată în continuare cu un al patrulea set de patru noi înlocuitori de fascicule de combustibil 110d, care includ ținte neiradiate Mo-99. După cum se arată în figura 5I, pe măsură ce cel de-al patrulea set de înlocuitori de fascicule de combustibil neiradiat, de exemplu, 110d, este introdus în tubul de presiune 104 în modul „combustibil în sensul curgerii”, mașina de acceptare 108 îndepărtează primul set de patru înlocuitori de fascicule de combustibil care au fost iradiate pentru timpul dorit (adică aproximativ 7 zile pentru Mo-99). După cum se arată în figura 5H și în figura 5I, pot să fie încărcăți noi înlocuitori de fasciculul de combustibil de mașina de încărcare 109 atunci când vine momentul să se elimine înlocuitorii de fascicule de combustibil care au fost iradiați pentru perioada de timp dorită, ceea ce asigură caracterul continuu al acestui procedeu. Notă, în procedeele alternative, în fiecare set pot fi incluse mai puțini sau mai mult de patru înlocuitori de fascicule de combustibil.

[0042] Un alt exemplu de procedeu de iradiere de ținte radioizotopi include “reamestecarea” unui șir existent de fascicule de combustibil fisionabil într-un canal de combustibil corespondent. Un șir de combustibil este reamestecat prin îndepărtarea unui fascicul de combustibil fisionabil și înlocuirea acestuia cu un înlocuitor de fascicul de combustibil neiradiat. Poziția înlocuitorului de fascicul de combustibil în canalul de combustibil poate varia prin înlăturarea unui anumit număr de fascicule de combustibil fisionabil, introducerea înlocuitorului de fascicul de combustibil, apoi prin reamplasarea tuturor fasciculelor de combustibil fisionabil demontate anterior, cu excepția ultimului. De asemenea, în canalul de combustibil pot fi introduși mai mulți înlocuitori de fascicule de combustibil, atât timp cât un număr corespunzător de fascicule de combustibil fisionabil demontate nu sunt reintroduse în canalul de combustibil. Pentru a îndepărta fasciculele de combustibil înlocuitoare după o perioadă de iradiere adecvată, mașina de alimentare redeplasează șirul de la capătul de ieșire (mașina de acceptare 108, figura 1C) și introduce un număr egal de noi fascicule de combustibil fisionabil la capătul de intrare (mașina de încărcare 109, figura 1C). Pentru optimizarea acestui procedeu, extracția înlocuitorilor de fascicul de combustibilului iradiat are loc, de preferință, în același timp, cu o operațiune de alimentare cu combustibil de rutină, pe care operatorii instalațiilor ar putea să o anticipe în mod normal, pentru a furniza noi fascicule de combustibil fisionabil canalului de alimentare cu combustibil.

[0043] Procedeele de iradiere a materialului radioizotop discutate mai sus oferă diferite avantaje care pot să nu fie prezente în metodologiile de iradiere existente, cum ar fi atunci când porturile de iradiere ale reactoarelor de cercetare sunt utilizate pentru iradierea țintei. În special, procedeele de iradiere care includ utilizarea de înlocuitori de fascicule de combustibil, cum ar fi cele discutate mai sus, oferă capacitatea de a crește cantitatea unui anumit radioizotop care poate fi produs într-o anumită perioadă de timp. De exemplu, poate fi utilizat volumul total al unui înlocuitor de fascicul de combustibil 110 (Figurile 2A și 2B) pentru a produce cantități mari de material iradiat în raport cu procedeele existente de iradiere a țintelor radioizotopi (adică, utilizând reactoare de cercetare). De asemenea, înlocuitorii de fascicule multiple de combustibil 110 pot fi iradiați simultan într-un singur canal de combustibil al unui reactor CANDU, de exemplu, până la 13 înlocuitori de fascicule de combustibil 110 odată. În plus, pot fi utilizate simultan mai multe canale de combustibil în cadrul unui reactor CANDU.

[0044] În plus față de creșterea producției de radioizotopi în comparație cu procedeele de iradiere existente, mai mult de un material țintă cu radioizotopi poate fi încărcat într-un singur înlocuitor de fascicul de combustibil 110 pentru iradierea simultană. În mod similar, diferite materiale de iradiere țintă radioizotopică pot fi încărcate în înlocuitori de fascicule de combustibil diferite 110 în cadrul unui singur șir (canalul de combustibil) al reactorului. Manipularea acestor înlocuitori de fascicule de combustibil 110 de mașina de alimentare 106 (figura 1C) permite iradierea simultană a diferiților înlocuitori de fascicule de combustibil 110, scoase din canalul de combustibil corespondent, independent unul de altul, funcție de perioada de iradiere dorită pentru materialul țintă dat. De asemenea, orice canal de combustibil din zona activă a reactorului poate fi utilizat pentru iradierea înlocuitorilor de alimentare cu combustibil 110, cu condiția să fie prezent un nivel adecvat de flux la respectivul canal de alimentare cu combustibil.

[0045] Referindu-ne acum la Figurile 6A și 6H, un sistem de deplasare a înlocuitorilor de combustibil iradiat 110 din reactor într-o zonă de recepție/procesare dorită din complexul reactorului include un recipient de conținere ecranat 130 care este amplasat pe un cărucior mobil 131, și un transportor 134 și se extinde între o zonă de primire 137 pentru recipient și o zonă de colectare 140 pentru țintele iradiate 122. După cum se arată în figură, recipientul 130 este primit pe căruciorul 131 astfel încât recipientul 130 să poată fi

deplasat între o locație în care este accesibil pentru mașina de acceptare 108 (figura 1C) și un loc în care înlocuitoarele de fascicule de combustibil iradiat pot fi îndepărtate în siguranță din recipientul 130, cum ar fi zona de primire a recipientului 137.

[0046] După ce unul sau mai mulți înlocuitori de fascicule de combustibil 110 au fost iradiați și scoși din miezul reactorului 101 de către mașina de acceptare 108 (Figurile 4A – 4J și 5A – 5I), mașina de acceptare 108 este temporar fixată pe portul corespunzător (nu este prezentat în figură) din recipientul 130, fiecare port aflându-se în comunicație cu un loc de depozitare corespunzător din recipientul 130. Într-o modalitate de realizare preferată, fiecare port de pe recipientul 130 este construit similar cu fittingurile de capăt ale canalului de combustibil discutate anterior 103a și 103b (figura 4A), permițând astfel mașinii de acceptare 108 să se cupleze cu recipientul 130 în același mod în care se cuplează cu un canal de combustibil al miezului reactorului. Fiecare amplasament de depozitare din recipientul 130 este configurat să accepte unul sau mai mulți înlocuitori de fascicule de combustibil iradiat 110. La descărcarea unuia sau mai multor înlocuitori de fascicule de combustibil în interiorul recipientului 110, mașina de acceptare 108 este detașată de la recipientul 130 și readusă la operațiile de rutină, după caz.

[0047] De preferință, recipientul 130 include ecranarea adecvată, astfel încât înlocuitorii de fascicule de combustibil iradiat 110 să poată fi mutați în jurul complexului reactorului, după cum este necesar, în locul dorit. Referindu-se în mod specific la figura 6A, după ce căruciorul 131 a transportat recipientul 130 în zona de prelucrare dorită, cum ar fi zona de primire a recipientului 137, se îndepărtează o ușă finală 132 din recipientul 130 astfel încât să se poată îndepărta înlocuitorii de combustibil iradiat 110. Notă: deoarece fasciculul de combustibil de substituție 110 eliminat în recipientul 130 a fost iradiat, o ușă finală 132 a recipientului 130 este îndepărtată numai după ce au fost asigurate ușile necesare, dispozitivele de închidere etc., pentru a preveni expunerea accidentală a personalului instalației. După ce s-a stabilit izolarea și s-a îndepărtat ușa finală 132, se îndepărtează înlocuitorii de fascicule de combustibil 110 din recipientul 130 și se transportă pe transportorul 134 în zona de colectare a țintelor 140, după cum se arată în figurile 6B și 6C. De preferință, fiecare amplasament de depozitare din recipientul 130 include un împingător (nu este indicat în figură) configurat pentru a forța înlocuitorii de fascicule de combustibil iradiat 110 să iasă din recipientul 130. După cum se vede cel mai

bine în figura 6D, fiecare înlocuitor de fascicul de combustibil 110 este primit pe un suport corespunzător 135, astfel încât să fie susținut deasupra transportorului 134 și să fie facilitată mișcarea acestuia de-a lungul transportorului 134.

[0048] După cum se arată în figurile 6D și 6E, odată ce înlocuitorul de fasciculul de combustibil 110 este primit în zona de colectare a țintei 140, plăcile finale 120 sunt scoase de la ambele capete ale înlocuitorului de fascicul de combustibil 110. După cum se arată în figură, un înlocuitor de fascicul de combustibil 110 include capace de capăt 114 care sunt fixate pe plăcile de capăt 120 astfel încât fiecare teacă tubulară 112 să fie deschisă la ambele capete odată ce plăcile de capăt 120 au fost scoase de pe înlocuitorul de fascicul de combustibil. Referindu-ne acum la figurile 6F și 6G, cu ambele plăci de capăt 120 demontate, este preferabil să se utilizeze o bară de împingere 136 pentru a împinge țintele iradiate Mo-99 din tecile tubulare corespondente 112 și în zona de colectare 140. După cum s-a văzut cel mai bine în figura 6F, tija împingătoare 136 include o pluralitate de brațe paralele 138, fiecare braț 138 fiind poziționat pe tija împingătoare 136 astfel încât să corespundă unei teci tubulare unice 112 a înlocuitorului fasciculului de combustibil 110. Ca atare, tija împingătoare 136 este în măsură să forțeze toate țintele 122 să iasă din înlocuitorul fasciculului de combustibil 110 într-o singură trecere. După cum se arată în figură, scoaterea plăcilor de capăt 120 lasă restul înlocuitorului fasciculului de combustibil 110 intact, astfel încât să poată fi reutilizat cu ușurință în procesele de iradiere a țintei ulterioare.

[0049] După cum s-a menționat mai sus în ceea ce privește Figurile 2A și 2B, o modalitate de realizare a unui înlocuitor de fascicul de combustibil 110 în conformitate cu prezenta dezvăluire este realizabilă utilizând procedeele de proiectare, materialele de construcție cunoscute pentru fascicule de combustibil fisionabil pentru reactoarele CANDU. Mai precis, înlocuitorul fasciculului de combustibil 110 include teci tubulare 112, capace de capăt 114, plăcuțe de reazem 116, plăci de capăt 120, și plăcuțele distanțiere 118 care sunt construite și asamblate în mod similar cu fasciculele de combustibil fisionabil, diferența principală fiind aceea că înlocuitorul fasciculului de combustibil 110 include ținte de radioizotopi 122 (Figurile 3A și 3B) în loc de pelete de combustibil fisionabil. În consecință, înlocuitorul fasciculului de combustibil 110 afectează caracteristicile fluxului fluidului principal din canalul de combustibil corespondent zonei



active a reactorului în același mod ca și fasciculele de combustibil fisionabil. De asemenea, după cum s-ar aștepta, efectele fluxului principal și ale radiațiilor asupra înlocuitoarelor fasciculelor de combustibil 110 sunt similare cu efectele acestora asupra fasciculelor de combustibil fisionabil 121.

[0050] Referitor la Figurile 7A și 7B, tecile tubulare 200 din fasciculele de combustibil fisionabil sunt proiectate să suporte o pliere a tecii, în care o mare parte din peretele tecii se „prăbușește” pe peletele pentru combustibil 202 care sunt amplasate în aceasta. Chiar dacă este de dorit o aplatizare a tecii în fasciculele de combustibil fisionabil, deoarece reduce diferența 201 care există între suprafața interioară a tecii tubulare 200 și peletele de combustibil 202, măbind astfel conductivitatea termică, acesta poate fi un dezavantaj când se îndepărtează țintele iradiate cu radioizotopi dintr-o teacă tubulară a înlocuitorului fasciculului de combustibil. După cum se arată în figura 7B, prăbușirea tecii poate duce la zone de deformare cu încovoire 113 care se formează la capetele axiale ale tecii tubulare 200 adiacente capacelor de capăt 204. Diametrul redus al tecii tubulare 200 care se produce în apropierea zonelor de deformare cu încovoire 113 poate împiedica eliminarea țintelor iradiate cu radioizotopi 122 din teaca tubulară 200 corespundente, în sensul că țintele au un diametru exterior mai mare decât diametrul interior al tecii tubulare iradiate 200.

[0051] Pentru a evita colapsul tecii și problemele potențiale corespundente, modalitatea de realizare alternativă a înlocuitorilor fasciculelor de combustibil poate include modificări ale designului existent al fasciculelor de combustibil fisionabil tradițional. De exemplu, un înlocuitor modificat al fasciculului de combustibil poate include o teacă tubulară 112 care include o porțiune groasă a peretelui 112a care extinde lungimea tecii tubulare 112, cu excepția porțiunilor mai subțiri la capătul circular 117 amplasate la fiecare capăt al tecii tubulare 112, după cum se arată în figura 8A. Porțiunea îngroșată a peretelui 112a oferă o rigiditate structurală suplimentară pentru teaca tubulară 112, contribuind astfel la prevenirea colapsului tecii și problemelor aferente. Porțiunile de capăt circulare 117 sunt mai subțiri decât porțiunea îngroșată a peretelui 112a și sunt configurate să primească capacele de capăt 114 prin intermediul unei operații de sudare. În timp ce porțiunea îngroșată a pereților 112a ajută la prevenirea colapsului tecii, porțiunile mai subțiri cu capăt inelar 117 facilitează eliminarea capacelor de capăt 114 printr-o operație standard,

cum ar fi tăierea, după cum se arată în figura 9B. Prin prevenirea colapsării tecii și permițând îndepărtarea capacelor 114 prin operații de tăiere tradiționale, teaca modificată tubulară 112 facilitează eliminarea țintelor de radioizotopi iradiate 122 (figura 9B) prin menținerea integrității structurale a tecii tubulare. În plus, prevenirea colapsării tecii ajută la reducerea solicitărilor de compresie asupra conținutului (ținte de radioizotopi 122) tecilor tubulare. În cazul altei modalități de realizare alternativă, după cum se arată în figura 8B, porțiunea îngroșată a peretelui 112a se extinde pe întreaga lungime a tecii tubulare 112.

[0052] Referindu-ne acum la figura 10, modalitățile de realizare a înlocuitorilor fasciculelor de combustibil modificate poate include caracteristici care facilitează distingerea vizuală a tecilor tubulare 112 care conțin ținte de radioizotopi mai degrabă în loc de pelete de combustibil fisionabil pentru a preveni utilizarea lor neintenționată în fasciculele de combustibil fisionabil. De exemplu, tecile tubulare 112 din înlocuitorii de fascicule de combustibil modificate pot include plăcuțele de susținere modificate 146 și/sau plăcuțele de susținere suplimentară 148 care sunt în plus față de cele găsite pe fasciculele de combustibil fisionabili tipici. După cum se arată în figura 2B, plăcuțe de susținere standard 116 ale fasciculelor tradiționale de combustibil fisionabil se folosesc pentru a susține fasciculul de combustibil în tubul de presiune corespunzător al miezului reactorului. Caracteristicile distinctive suplimentare pot include coduri de bare 1-D sau 2-D care sunt citite de un cititor de coduri de bare corespunzător pentru a obține informații de identificare a conținutului tecii tubulare. În plus, un adaos 142 poate fi prevăzut pe suprafața exterioară a tecii tubulare modificate 112, care împiedică manipularea tecii tubulare de către echipamentele existente de asamblare automată a fasciculelor de combustibil fisionabil. De preferință, una sau mai multe dintre aceste caracteristici de identificare sunt furnizate pe tecile tubulare modificate 112 pentru a contribui la prevenirea transportului de fascicule de combustibil fisionabil dincolo de zonele autorizate și pentru a contribui la asigurarea faptului că numai înlocuitorii de fascicule de combustibil sunt transferați în zonele de manipulare și/sau de prelucrare prevăzute.

[0053] Făcând referire din nou la Figurile 6D și 6E, o altă modalitate de realizare a unui înlocuitor al unui fascicul de combustibil în conformitate cu prezenta dezvăluire utilizează construcția modulară, astfel încât înlocuitorul fasciculului de combustibil 110 să poată fi

utilizat în procese de iradiere cu țintă multiplă, în felul acesta reducând cantitatea de deșeuri iradiate care trebuie manipulate la încheierea fiecărui proces de iradiere a fiecărei ținte. După cum se arată în continuare, înlocuitorii de fascicule modulare de combustibil 110 includ aceleași componente ca și modalitățile de realizare a unui înlocuitor de fascicul de combustibil, ce au fost discutate anterior, diferența principală constând în faptul că capacele de capăt 114 pentru tecile tuburilor 112 sunt sudate pe plăcile de capăt respective 120 în loc de capetele axiale ale tecilor tubulare 112. Ca atare, scoaterea plăcilor de capăt 120 din înlocuitorul fasciculului de combustibil 110 duce, de asemenea, la îndepărtarea capacelor de capăt 114, lăsând tecile tubulare 112 deschise la ambele capete. Pe scurt, capacele de capăt 114 creează o închidere etanșă la fluide cu teaca tubulară corespondentă 112 fără a fi nevoie să fie sudate la aceasta, după cum se discută în detaliu mai jos. Referindu-ne din nou la Figurile 11A-11C, diferite configurații ale plăcilor de capăt (120a, 120b, 120c, 120d) sunt posibile, după cum este necesar, pentru ca înlocuitorii fasciculelor modulare de combustibil 110 să prezinte o rezistență la curgere similară la curgerea principală, la fel ca și fasciculele de combustibil fisionabil. Plăcile finale ale înlocuitorilor de fascicul de combustibil modulari pot fi, de asemenea, îngroșate în direcție axială pentru a spori integritatea structurală a acestora, deoarece sunt reutilizate pentru procese multiple de iradiere a țintei de radioizotopi .

[0054] În mod similar cu modalitățile de realizare discutate anterior, tecile tubulare de înlocuitori de fascicule de combustibil modulare pot primi ținte de radioizotopi 122 (figura 3A) în care sunt încapsulate materialele cu radioizotopi. De asemenea, tecile tubulare pot primi material de radioizotopi direct sub formă de pulbere, pelete solide, fascicul de foi, formă de disc etc. De preferință, tecile tubulare 112 din înlocuitorii de fascicule modulare de combustibil includ pereții îngroșați 112a, după cum se arată în figura 13, în comparație cu porțiunile de perete 212a din tecile tubulare 212 utilizate în fasciculele tradiționale de combustibil fisionabil (figura 12). Porțiunile îngroșate ale pereților 112a din tecile tuburilor modulare 112 asigură o integritate structurală suplimentară pentru a mări frecvența naturală a tecii tubulare 112 dincolo de nivelul de preocupare pentru condițiile de curgere principală preconizate, evitând astfel problemele de vibrații care pot apărea în ceea ce privește fasciculele de combustibil fisionabil tradiționale subțiri. Integritatea structurală sporită și, prin urmare, vibrațiile reduse ale tecilor tubulare modulare 112 pot duce la

reducerea uzurii inter-elementelor componente ale unui înlocuitor de fascicul de combustibil modular în raport cu construcțiile tradiționale.

[0055] Referindu-ne acum la Figurile 14A la 14C, în acestea sunt prezentate diferite sisteme de fixare a plăcilor de capăt pe corpul înlocuitorului fasciculului modular de combustibil 110. Referindu-ne în mod specific la Figura 14A, un tirant central 160 atașat la o primă placă de capăt 162 poate fi fixat pe o a doua placă de capăt 164 după ce capacele de capăt 114 au fost cuplate cu capetele corespunzătoare ale tecilor tubulare 112. Tirantul 160 poate fi fixat pe a doua placă de capăt 164 printr-un dispozitiv de fixare detașabil, un sistem de siguranță demontabil de unică folosință, o sudură etc. După cum se arată în figura 14B, modalitatea de realizare prezentată în figura 14A poate fi modificată prin asigurarea primei și a celei de-a doua plăci de capăt ușor curbată, 162a și 162b, în care suprafețele curbate sunt amplasate adiacent capetelor tecilor tubulare 112. Deoarece prima și a doua placă de capăt 162a și 164a sunt trase împreună de tirantul central 160 și încep să se aplatizeze, acestea oferă o forță elastică suplimentară, care sporește integritatea axială a înlocuitorului fasciculului de combustibil modular 110. După cum se arată în figura 14C, o modalitate de realizare alternativă a unui înlocuitor modular de fascicul de combustibil 110 poate include prima și a doua placă de capăt 172 și 174 care sunt fixate la capetele opuse ale mulțimii tecilor tubulare 112 prin ansamblurile de blocare cu arc 176. După cum este indicat în figură, fiecare capac de capăt 114 este fixat pe capătul corespunzător al unei teci tubulare 112 cu un ansamblu individual de blocare cu arc 176.

[0056] Referindu-ne acum la Figurile 15A - 15B, în cazul unei modalități de realizare alternative a unui înlocuitor de fascicul de combustibil modular, plăcile de capăt pot fi fixate pe teaca tubulară 112 utilizând o construcție de sudare multiplă. După cum se arată în figura 15A, se folosește un punct de sudură 151 pentru fixarea fiecărui capac de capăt 114 la capătul unei teci tubulare corespondente 112, ceea ce înseamnă că placa de capăt este fixată de tecile tubulare 112 prin intermediul capacelor de capăt 114. După cum se arată în Figurile 15B și 15C, după finalizarea procesului de iradiere a țintei, punctele de sudură 151 sunt îndepărtate, permițând astfel îndepărtarea plăcilor de capăt din tecile tubulare 112 și scoaterea materialului țintă iradiat. După cum se arată în figura 15D, înainte de un proces de iradiere a țintei ulterior, alte ținte neiradiate sunt amplasate

în tecile tubulare 112 și capacele de capăt sunt sudate din nou în puncte la capetele tecilor tubulare corespondente 112.

[0057] Referindu-ne acum la Figurile 16A până la 16C, sunt prezentate diferite dispozitive pentru menținerea integrității rotaționale a înlocuitorilor fasciculelor de combustibili modulari. După cum se arată în figura 16A, rotirea tecii tubulare 112 în raport cu placa de capăt 120 poate fi prevenită prin utilizarea unei plăcuțe 178 dispuse pe capacul de capăt 114 care cuplează cu un locaș corespunzător 180 definit în teaca tubulară 112, deoarece capacul de capăt 114 este recepționat glisant în acesta. După cum se arată în figura 16B, rotirea tecii tubulare 112 în raport cu placa de capăt 120 poate fi împiedicată de o lamelă elastică 182 care cuplează cu un orificiu corespondent 184 definit de teaca tubulară 112 în care glisează capacul de capăt 114. După cum este prezentat în figura 16C, rotirea tecii tubulare 112 în raport cu placa de capăt 120 poate fi împiedicată de cuplarea unei perechi de știfturi cu extindere axială 190 și 193 care cuplează găurile corespondente 191 și, respectiv, 192. După cum este indicat în figură, știftul 190 și gaura 192 sunt amplasate la capătul tecii tubulare 112, iar știftul 193 și gaura 191 sunt amplasate la placa de capăt 120. În plus față de sistemele de mai sus, pot fi utilizate și alte procedee, cum ar fi suduri temporare, montări prin frecare, secțiuni transversale necirculare, pană interioară și aranjamente de cale de pană etc. cheie de contact etc., între tecile tubulare 112 și plăcile de capăt 120, pentru a împiedica rotația relativă a componentelor.

[0058] După cum se arată în Figurile 17A-17C, pot fi utilizate diferite măsuri pentru a asigura o etanșare pentru tecile tubulare ale înlocuitorului fasciculului de combustibil modular. După cum se arată în figura 17A, se poate primi o garnitură inelară rezistentă la radiații, cum ar fi un inel O 300, într-un canal 302 care se formează în suprafața exterioară și capacul de capăt 114. Notă, un inel C elastic sau o garnitură de metal de unică folosință pot fi de asemenea utilizate în modalitatea de realizare prezentată în figura 17A. După cum se arată în figura 17B, se poate forma o etanșare metalică între o suprafață tronconică (nereprezentată) formată pe peretele interior al tecii tubulare 112 și o suprafață de contact tronconică 304 formată pe capacul de capăt 114. Etanșarea dintre cele două suprafețe poate fi îmbunătățită prin utilizarea compresiei furnizate de unul sau mai mulți tiranți (nu sunt prezentați în imagine) care se extind între plăcile de capăt ale înlocuitorului fasciculului de combustibil modular. După cum se arată în figura 17C, se

poate folosi un inel exterior 306 pentru a obține un montaj cu interferență cu capacul de capăt corespondent 114. Etanșarea dintre teaca tubulare 112 și capacul de capăt 114 poate fi întărită prin utilizarea unui strat moale (neprezentat) pe suprafața exterioară a capacului de capăt 114.

[0059] Diferite modalități de realizare a înlocuitorilor fasciculelor de combustibil în conformitate cu prezenta prezentare pot include, de asemenea, alte materiale decât materialul țintă cu radioizotopi în tecile individuale tubulare sau înlocuitorul fasciculului de combustibil ca întreg. De exemplu, unele materiale care pot fi amplasate în înlocuitorii fasciculelor de combustibil includ, dar nu se limitează la acestea, materiale generatoare de izotopi, materiale pentru o cercetare a răspunsului la radiații în testare, materiale de umplere nefisionabile inerte, uraniu sărăcit, materiale de umplere compozite pentru reglarea densității neutronilor, precum și materiale fisionabile. În cazurile în care materialul fisionabil este inclus într-un înlocuitor de fascicul de combustibil, marcaje de identificare vizuală și lizibile pentru mașină, cum ar fi cele discutate în legătură cu Figura 10 de mai sus, sunt de preferință utilizate pentru fiecare teacă tubulară 112 pentru a împiedica transferul necorespunzător al materialelor fisionabile în laborator sau în instalațiile de producție. De asemenea, pot fi amplasate diferite materiale pe toată lungimea fiecărei teci tubulare. De exemplu, diferite materiale pot fi amplasate de-a lungul unei teci tubulare pentru a afecta răspunsul dinamic al tecii tubulare în curgerea principală.

[0060] În plus, materiale de cercetare multiplă sau materiale izotop pot fi amplasate într-un element sau pot fi amplasate în diferite teci tubulare din înlocuitorul fasciculului de combustibil pentru a profita de un flux diferit din cauza autoecranării din cadrul fasciculului. În cazul în care un produs este utilizat pentru a reduce emisiile de neutroni, se aplică următoarele condiții. De exemplu, materiale transparente pentru neutroni pot fi amplasate în inelele exterioare ale unui înlocuitor de fascicul de combustibil, în timp ce materiale mai dense sunt amplasate înspre centrul fasciculului pentru a optimiza distribuția fluxului în interiorul înlocuitorului fasciculului de combustibil, sau pentru a reduce impactul perturbației de flux între canalele de combustibil adiacente. De asemenea, materiale cu diferite lungimi și densități pot să fie alternate de-a lungul lungimii axiale a tecii tubulare pentru a obține răspunsul dinamic dorit al tecii tubulare în

curgerea principală. De exemplu, materiale mai ușoare pot fi amplasate la capetele tecilor tubulare unde impactul la frecvențele naturale este mai scăzut, și materiale mai grele pot să fie dispuse înspre mijlocul tecilor tubulare. De asemenea, segmente mai scurte de material pot să fie întrebuințate pentru o mai mare flexibilitate, având ca rezultat frecvențe naturale mai scăzute. În mod similar, permițând existența a mai mult spațiu liber între material și peretele tecii tubulare se va asigura o mai ridicată flexibilitate și, prin urmare, o frecvență naturală mai scăzută.

[0061] Chiar dacă în cele de mai sus sunt descrise una sau mai multe modalități de realizare preferate ale invenției, specialiștii în tehnica din domeniu ar trebui să aprecieze că diverse modificări și variații pot fi făcute în actuala invenție fără depărtarea de la domeniul de aplicare și spiritul acesteia. Se intenționează ca prezenta invenție să acopere modificările și variațiile care intră în domeniul de aplicare și spiritul revendicărilor anexate și echivalentelor acestora.

Revendicări:

1. Procedeu de iradiere a unui material țintă într-un reactor cu apă grea pentru producerea unui izotop, cuprinzând etapele:

asigurarea unei prime ținte compusă dintr-un prim material țintă corespunzător pentru producerea izotopului prin intermediul unui eveniment de capturare de neutron;

plasarea primei ținte într-o parte a fluidului principal al reactorului cu apă grea; și iradierea ținte.

2. Procedeu în conformitate cu revendicarea 1, în care reactorul cu apă grea este un reactor CANDU.

3. Procedeu în conformitate cu revendicarea 1, în care prima țintă este amplasată într-un înlocuitor de fascicul de combustibil.

4. Procedeu în conformitate cu revendicarea 3, care cuprinde și etapa de introducere a înlocuitorului fasciculului de combustibil într-un tub de presiune al reactorului.

5. Procedeu în conformitate cu revendicarea 4, care cuprinde și etapa de amplasare a înlocuitorului fasciculului de combustibil după o perioadă de rezidență predeterminată într-un câmp de flux al reactorului, în care prima țintă este iradiată.

6. Procedeu în conformitate cu revendicarea 5, care cuprinde transferul primei ținte iradiate într-o instalație de prelucrare.

7. Procedeu în conformitate cu revendicarea 1, în care etapa de punere la dispoziție a unei ținte cuprinde de asemenea:

furnizarea unui înlocuitor de fascicul de combustibil care include mai multe teci tubulare care se întind între două plăci de capăt opuse; și

plasarea ținte într-o primă teacă dintre tecile tubulare.

8. Procedeu în conformitate cu revendicarea 7, care cuprinde furnizarea de material nefisionabil, materialul nefisionabil fiind amplasat într-una dintre prima sau a doua teacă tubulară.

9. Procedeu în conformitate cu revendicarea 1, care cuprinde și etapele următoare:

asigurarea unei a doua ținte compusă dintr-un al doilea material corespunzător pentru producerea unui radioizotop prin intermediul unui eveniment de capturare de neutron; și

plasarea celei de-a doua ținte într-o a doua teacă tubulară din mulțimea de teci tubulare ale înlocuitorului fasciculului de combustibil.

10. Procedeu în conformitate cu revendicarea 1, în care etapa de furnizare a unei prime ținte cuprinde și furnizarea unei capsule exterioare care să definească un volum interior, primul material vizat fiind amplasat în volumul interior.

11. Procedeu în conformitate cu revendicarea 10, în care capsula exterioară este alcătuită din primul material vizat.

12. Înlocuitor al fasciculului de combustibil pentru iradierea unui material țintă într-un reactor cu apă grea pentru producerea unui izotop, înlocuitorul fasciculului de combustibil având în componență:

o mulțime de teci tubulare, fiecare teacă tubulară fiind paralelă cu o axă centrală longitudinală a înlocuitorului fasciculului de combustibil;

o mulțime de capace de capăt, fiecare capac de capăt fiind amplasat pe un capăt corespondent al unei teci tubulare;

o pereche de plăci de capăt, plăcile fiind dispuse la capetele opuse ale mulțimii de teci tubulare; și

o primă țintă compusă dintr-un prim material țintă corespunzător pentru producerea izotopului prin intermediul unui eveniment de captură de neutroni,

în care prima țintă este amplasată într-o primă teacă tubulară a înlocuitorului fasciculului de combustibil.

13. Înlocuitor de fascicul de combustibil în conformitate cu revendicarea 12, în care prima țintă cuprinde și o capsulă exterioară care definește un volum interior, capsula exterioară fiind compusă din primul material țintă, iar primul material țintă este amplasat în volumul interior al capsulei exterioare.

14. Înlocuitor de fascicul de combustibil în conformitate cu revendicarea 13, în care primul material țintă amplasat în volumul interior al capsulei exterioare se prezintă sub formă de pulbere, discuri, segmente sau pelete.

15. Înlocuitor de fascicul de combustibil în conformitate cu revendicarea 12, care cuprinde de asemenea o a doua țintă compusă dintr-un al doilea material țintă, cea de-a doua țintă fiind amplasată într-o teacă tubulară a înlocuitorului fasciculului de combustibil.

16. Înlocuitor de fascicul de combustibil în conformitate cu revendicarea 12, care conține de asemenea un indicator de identificare pe o suprafață exterioară a primei teci tubulare, indicatorul de identificare fiind unul dintre un cod de bare, un adaos sau o plăcuță de susținere.

17. Înlocuitor de fascicul de combustibil în conformitate cu revendicarea 12, în care fiecare capac de capăt este fixat rigid pe capătul corespondent al tecii tubulare corespondente printr-o sudură.

18. Înlocuitor de fascicul de combustibil în conformitate cu revendicarea 12, în care fiecare capac de capăt este fixat la capătul corespondent al tecii tubulare corespondente prin forța exercitată de o placă de capăt corespondentă.

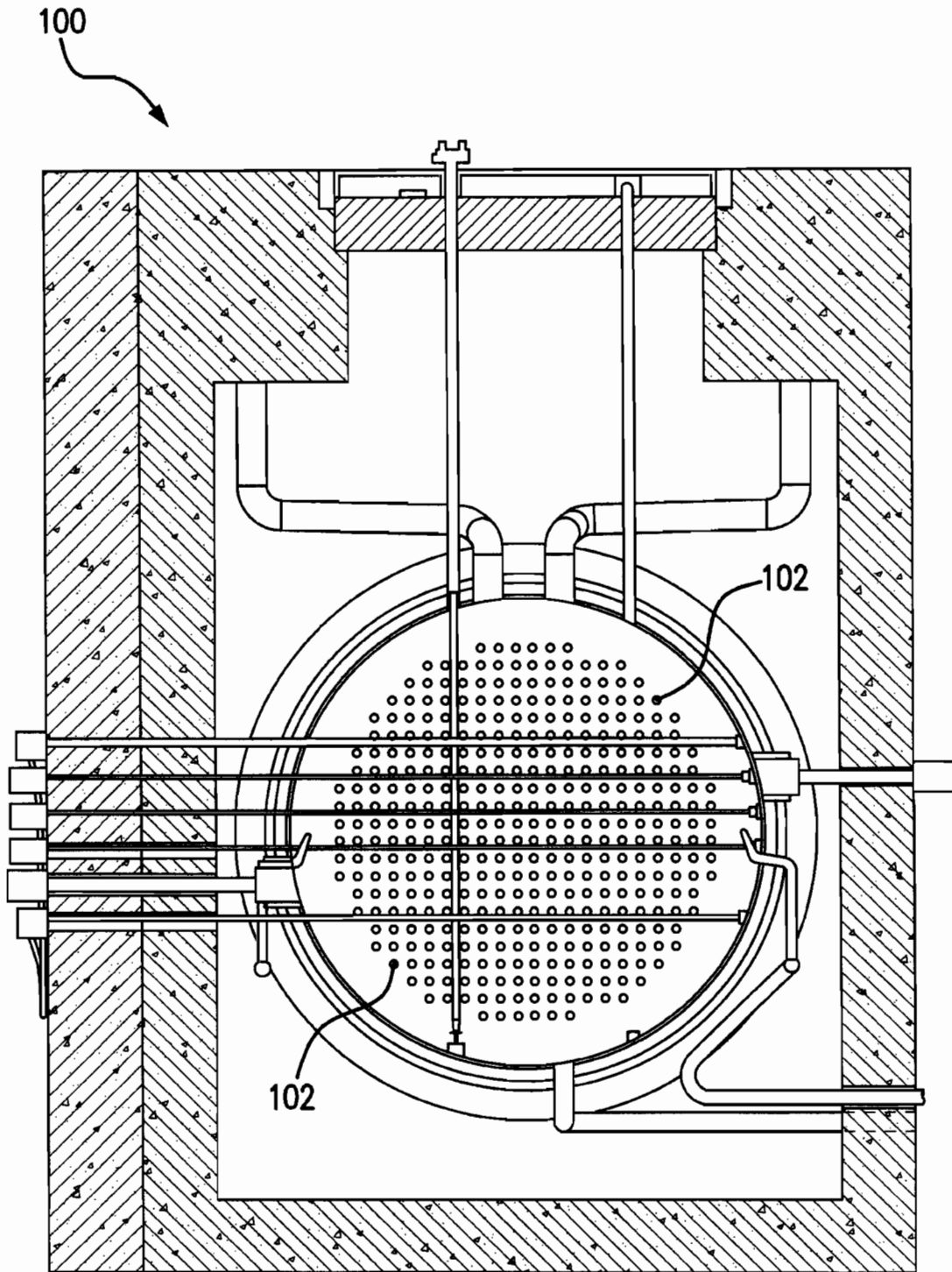


FIG. 1A

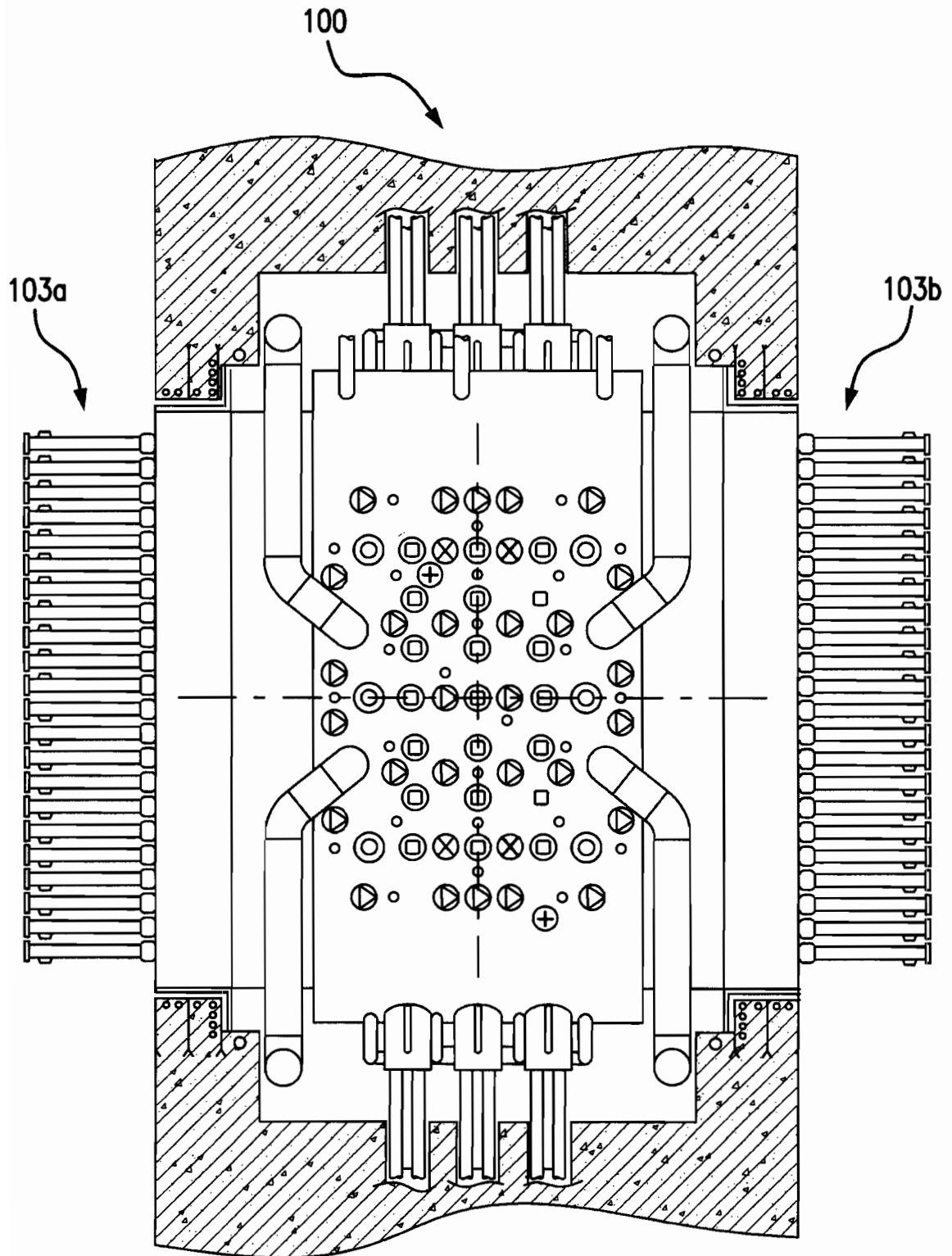


FIG. 1B

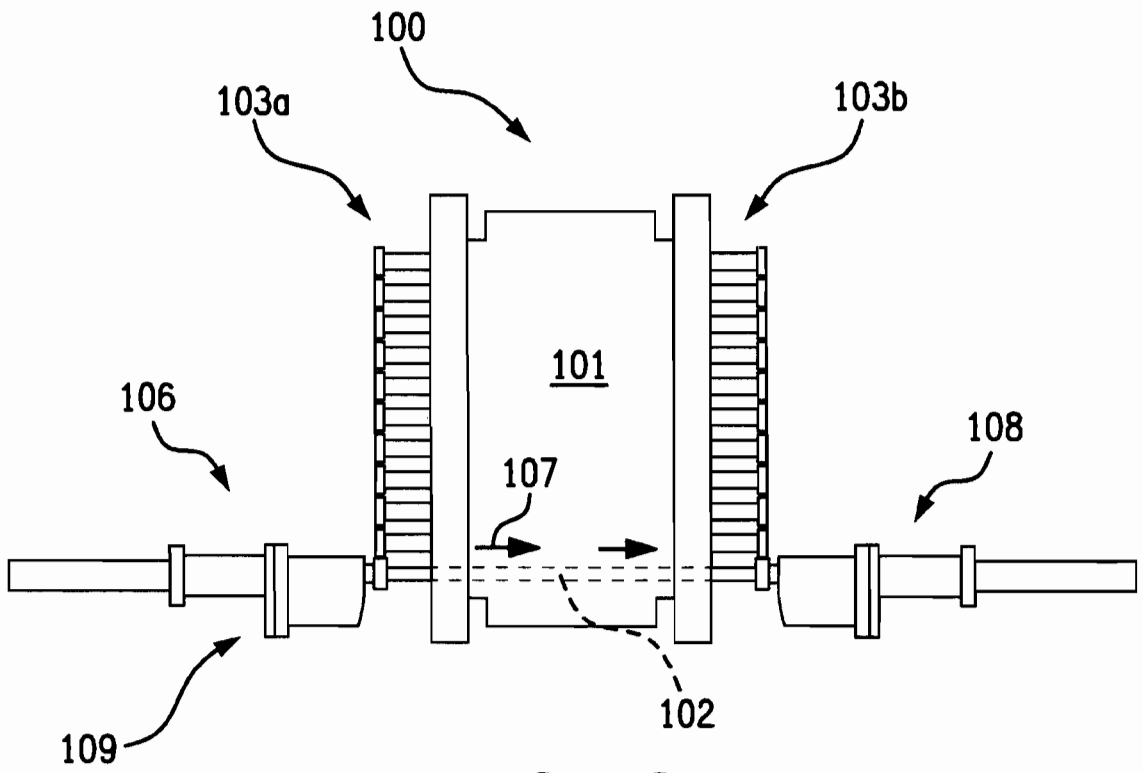


FIG. 1C

4/32

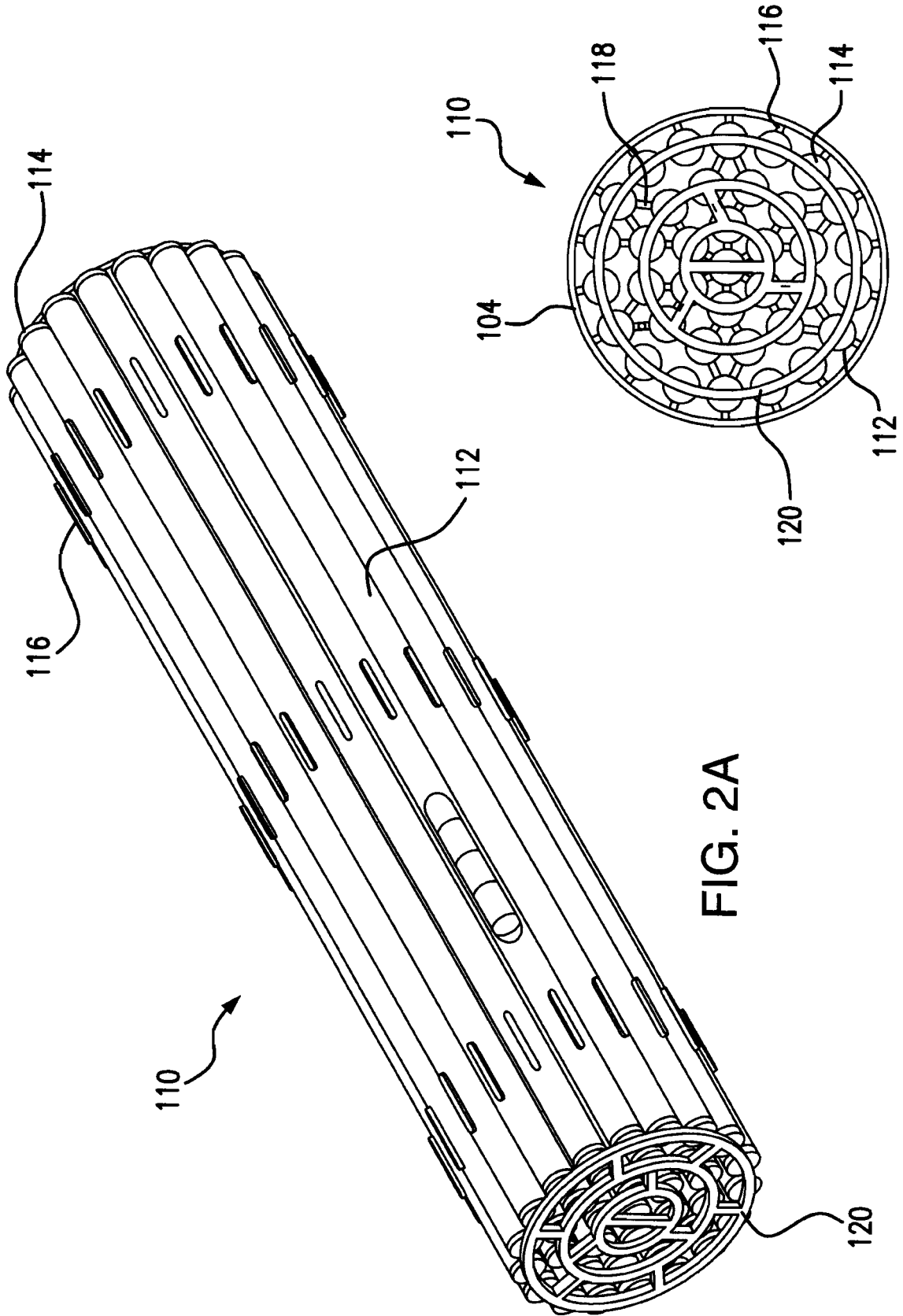


FIG. 2A

FIG. 2B

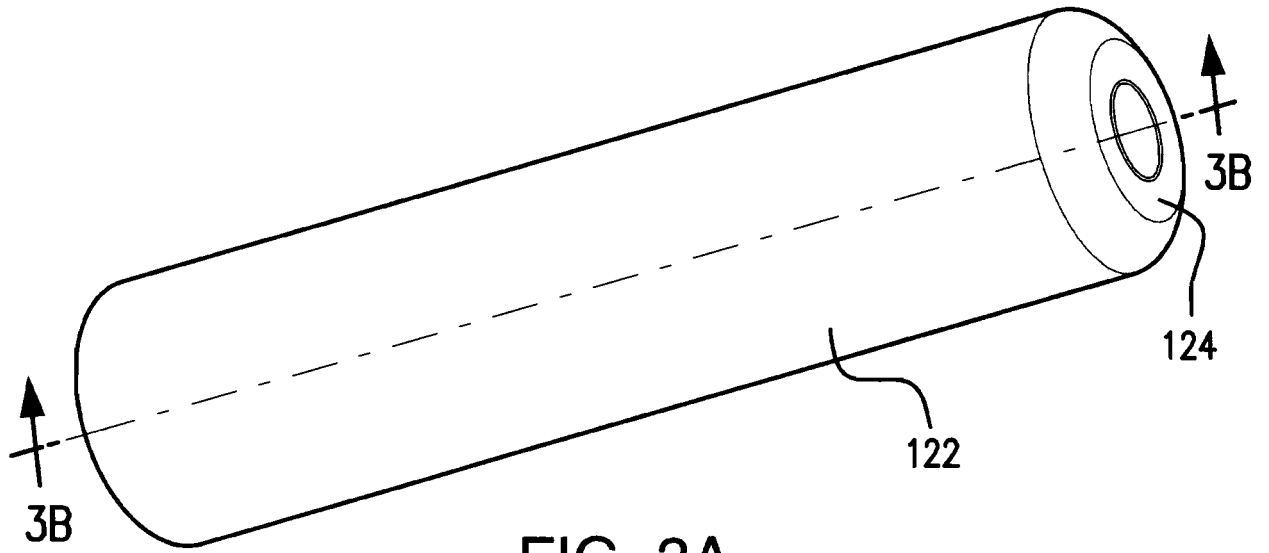


FIG. 3A

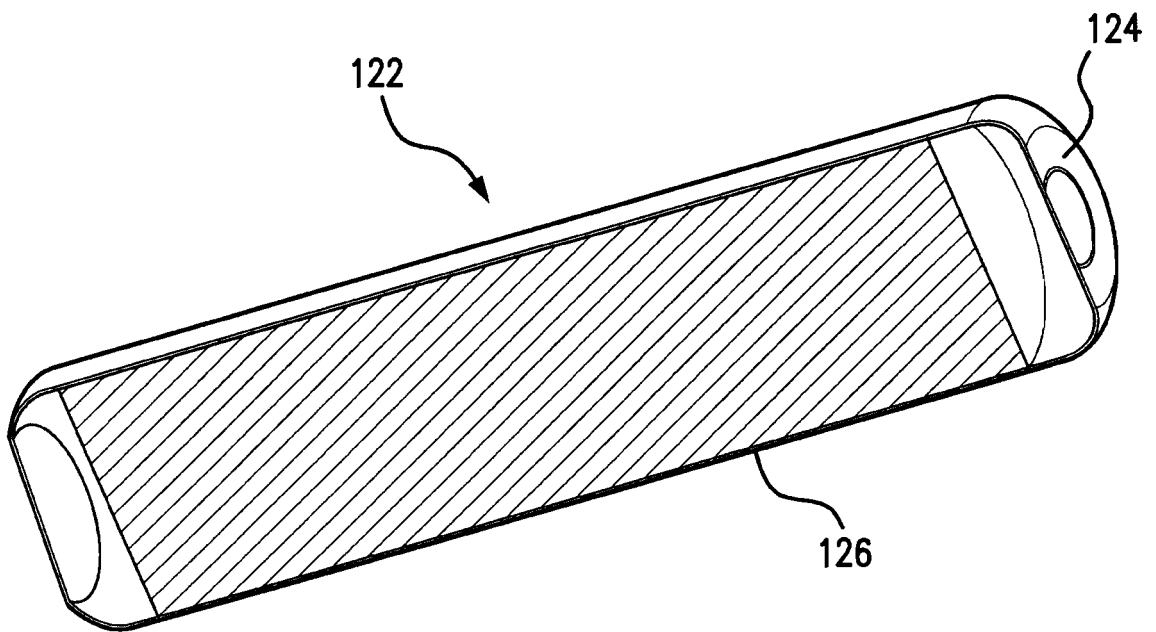


FIG. 3B

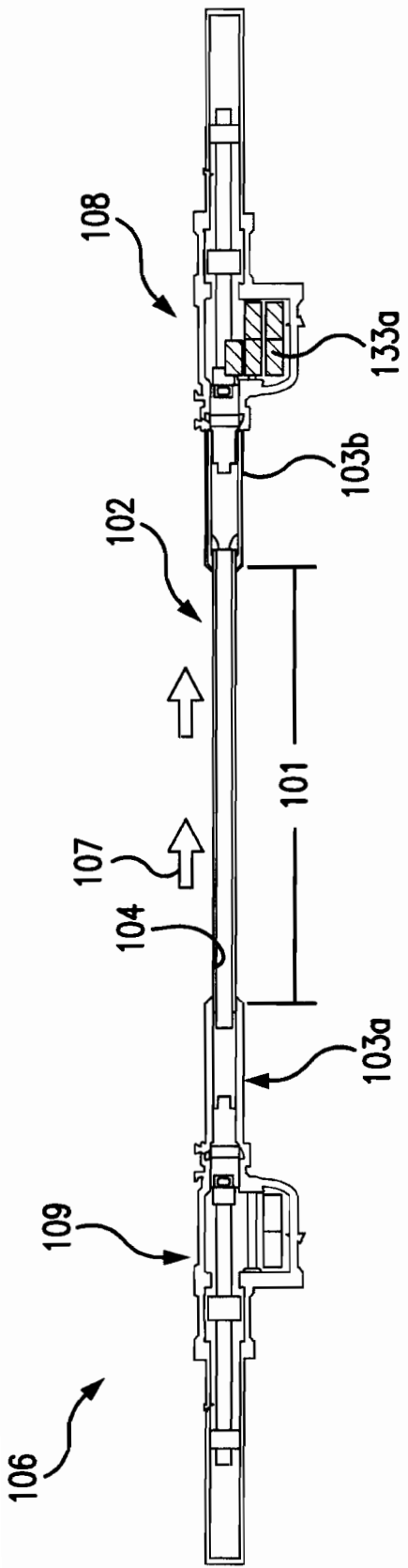


FIG. 4A

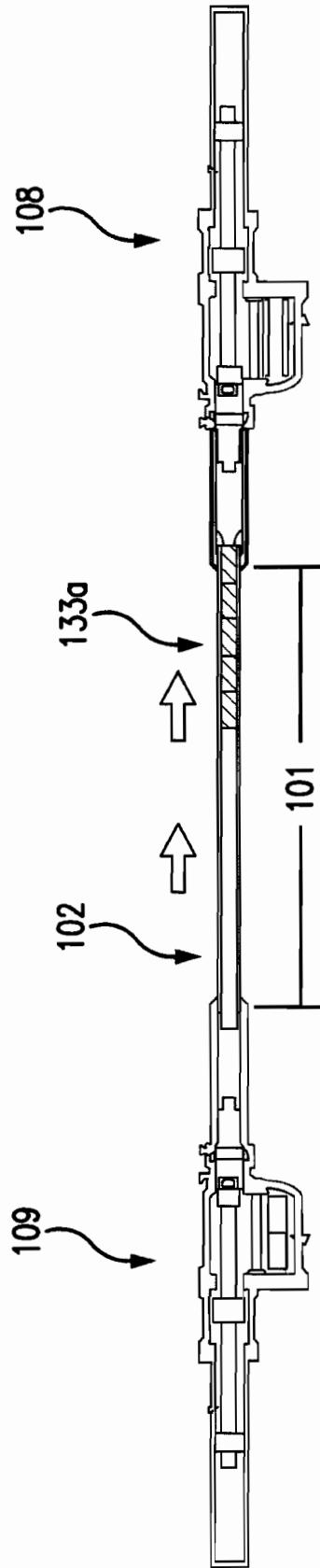


FIG. 4B

7/32

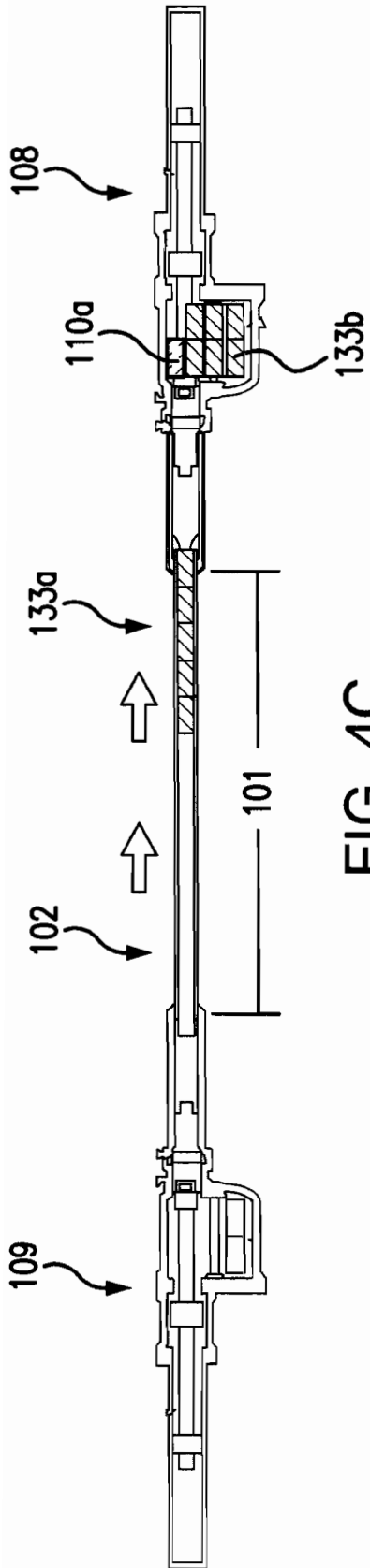


FIG. 4C

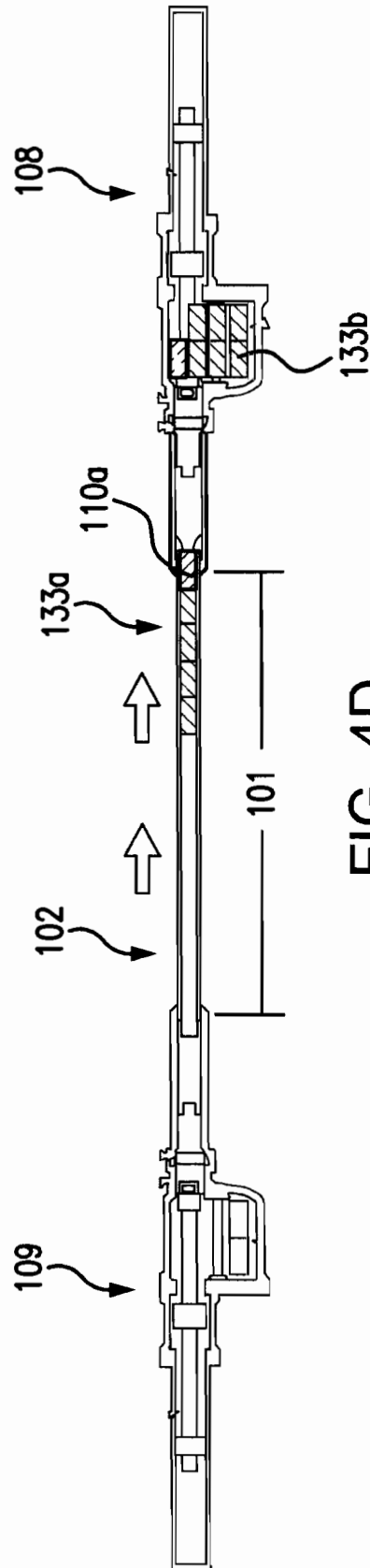


FIG. 4D

139

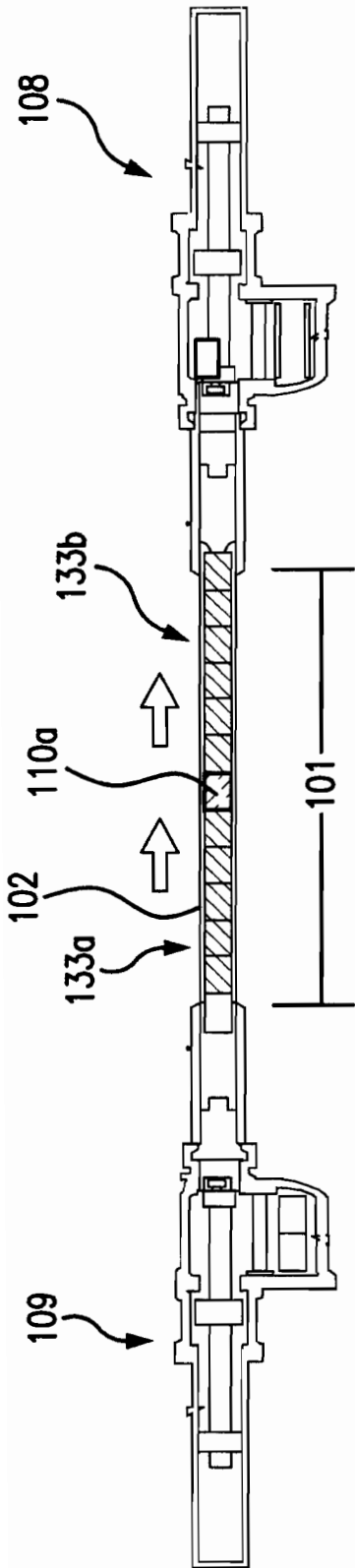


FIG. 4E

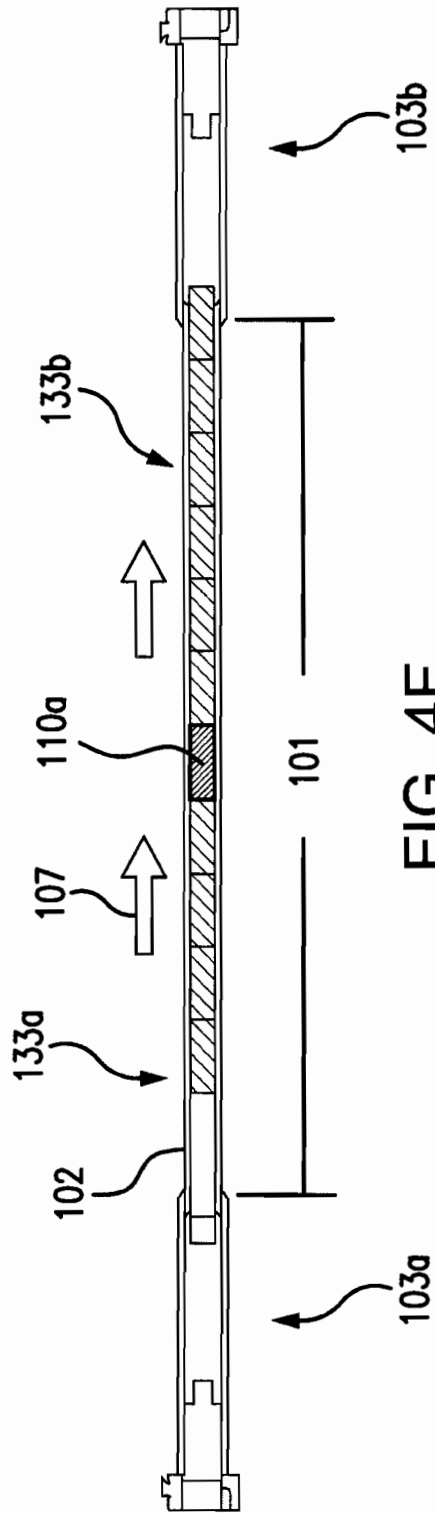


FIG. 4F

9/32

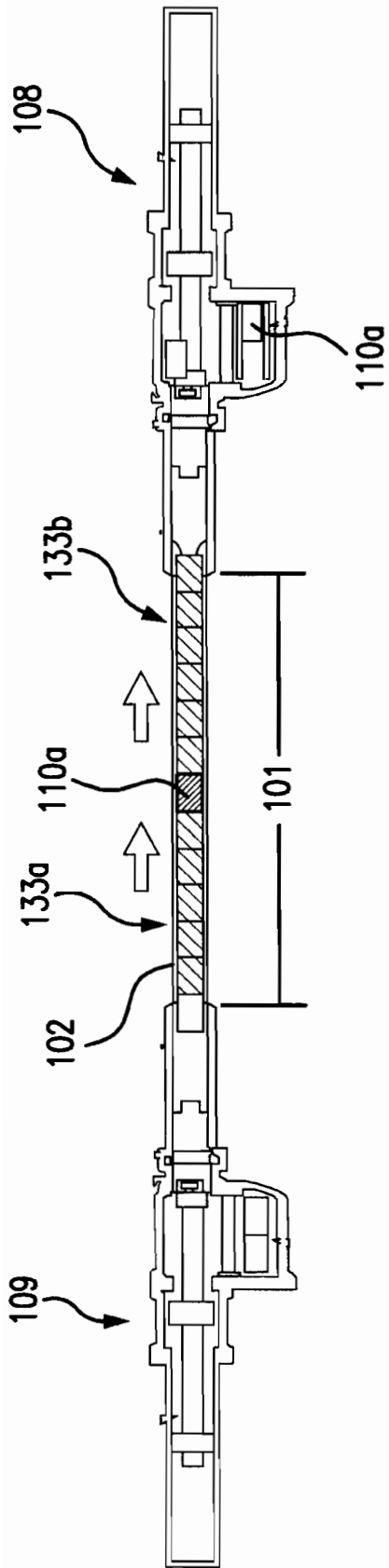


FIG. 4G

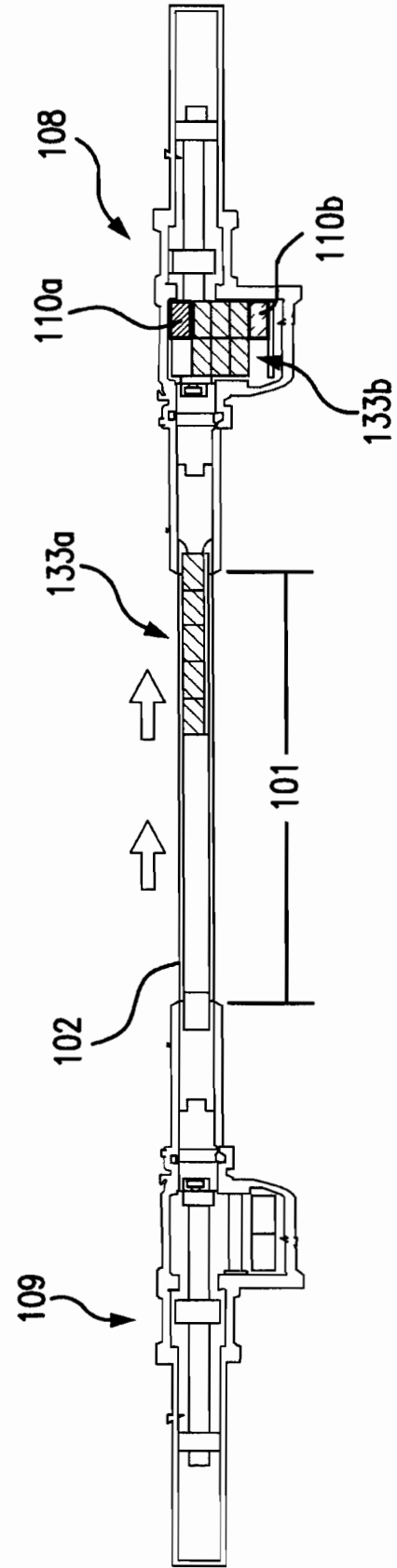
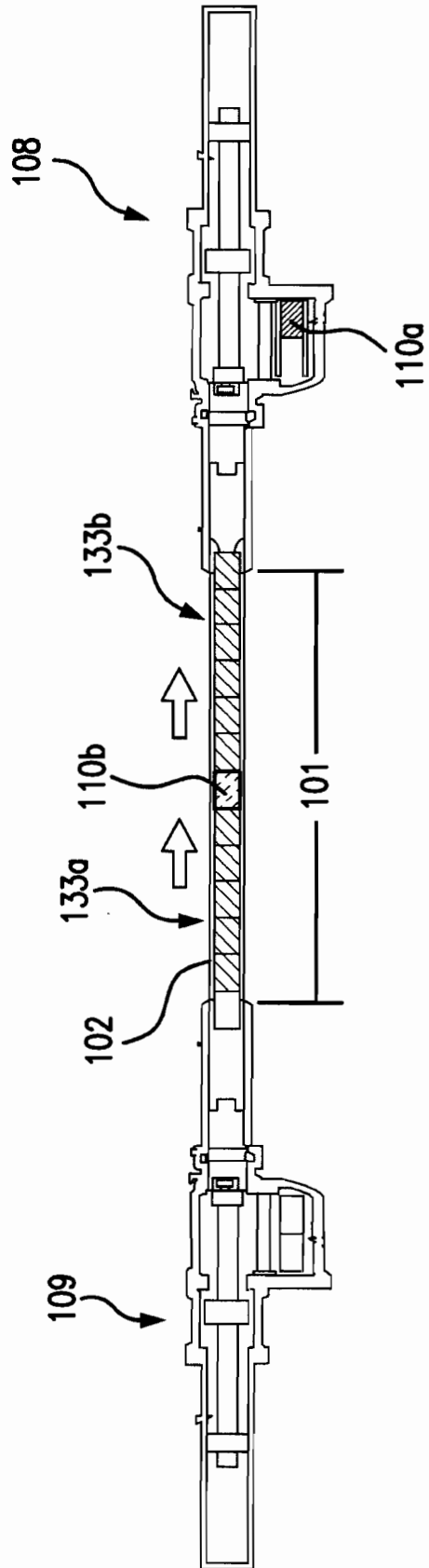
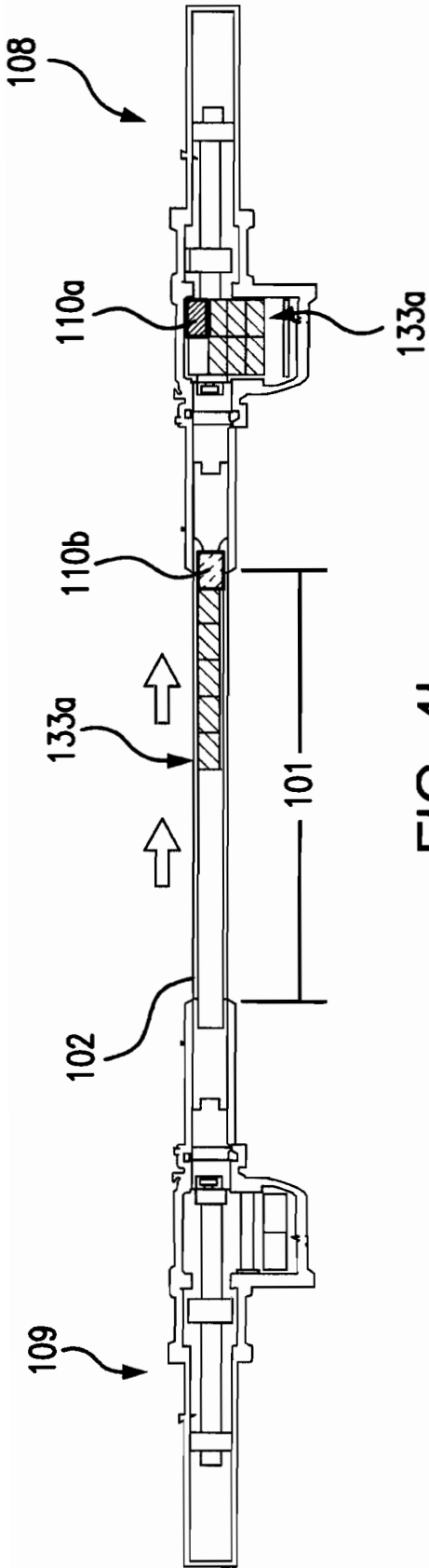


FIG. 4H

131

10/32



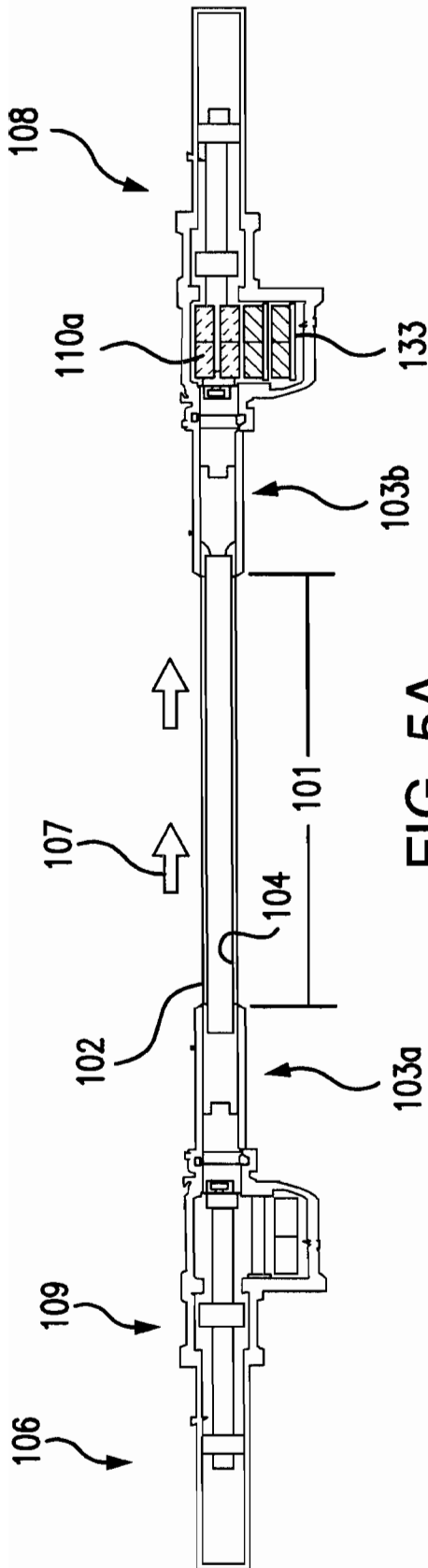


FIG. 5A

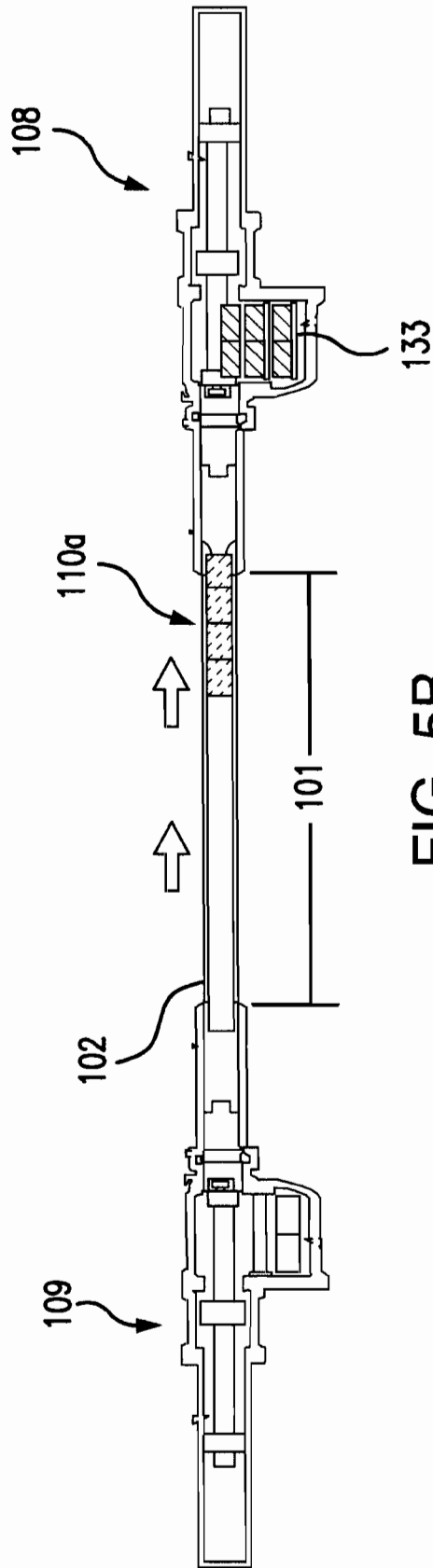


FIG. 5B

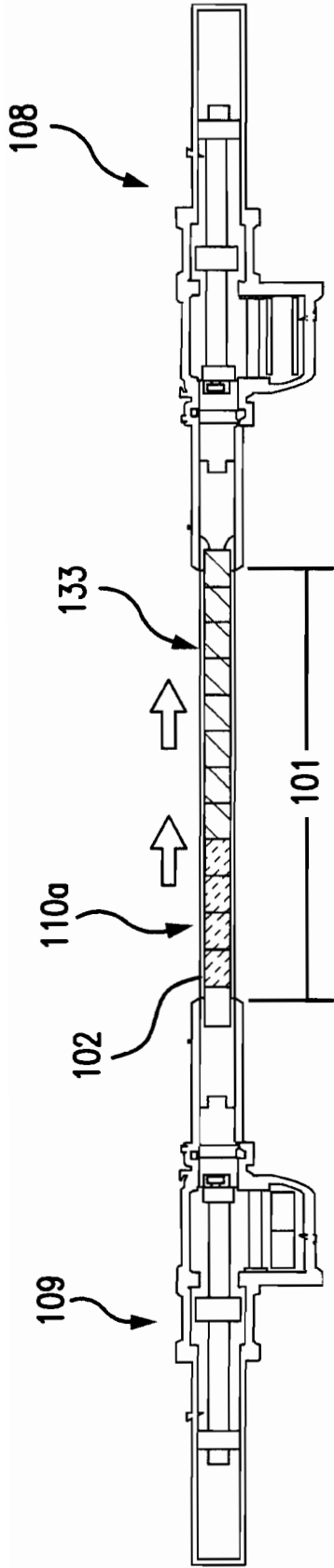


FIG. 5C

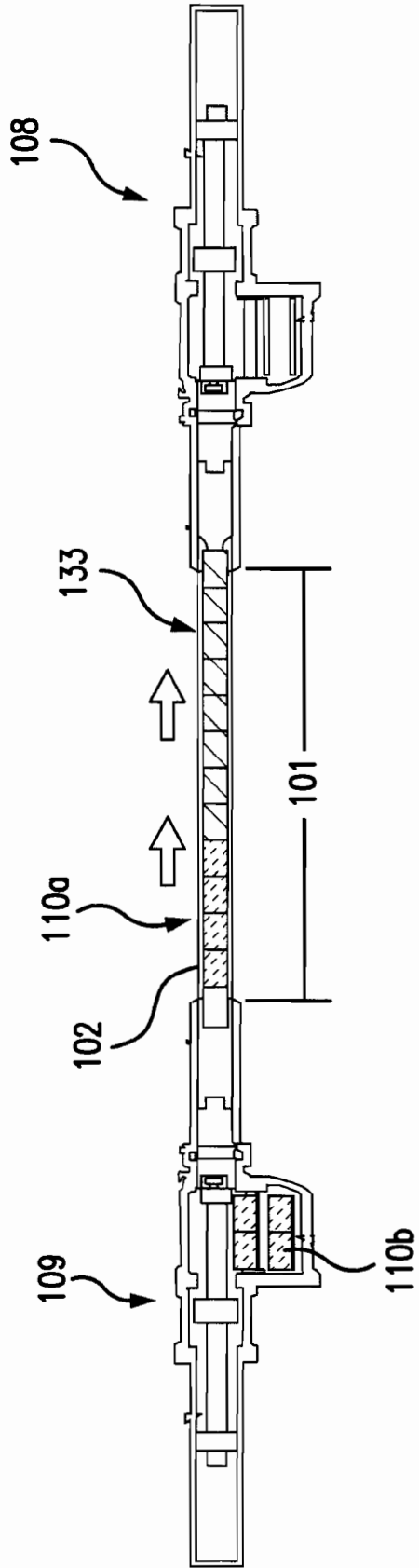


FIG. 5D

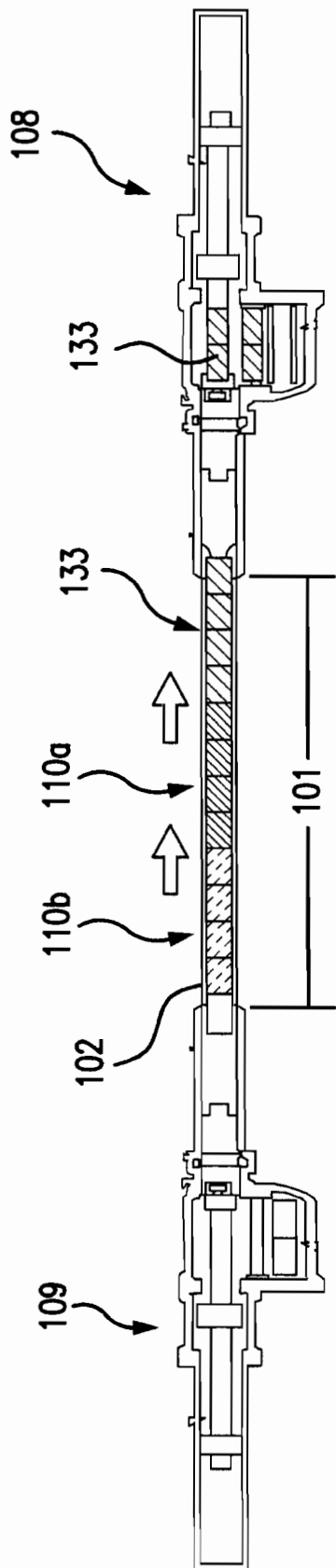


FIG. 5E

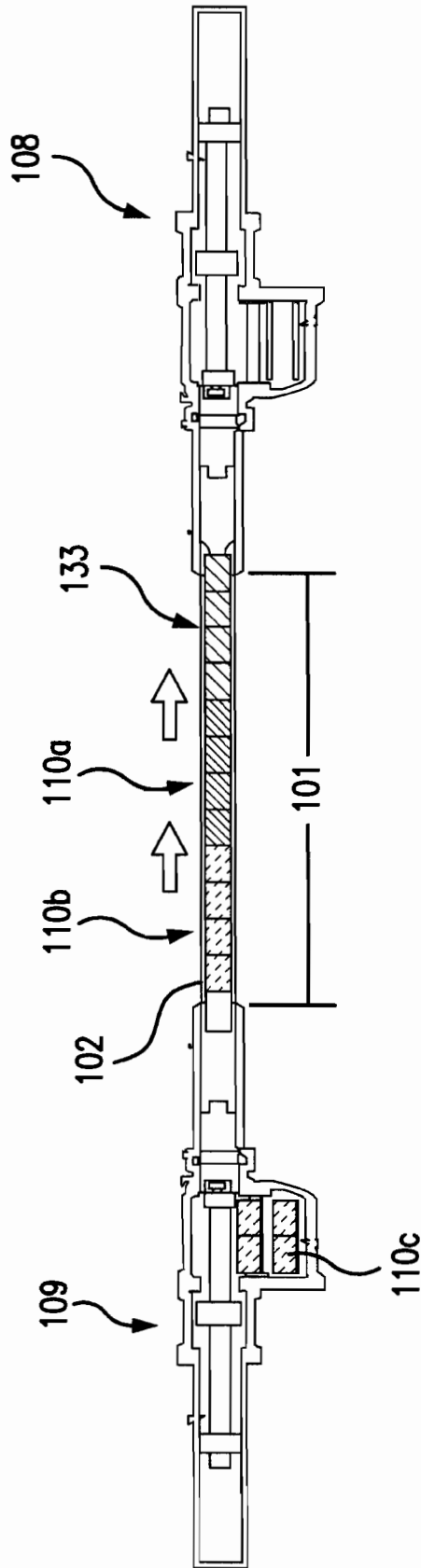


FIG. 5F

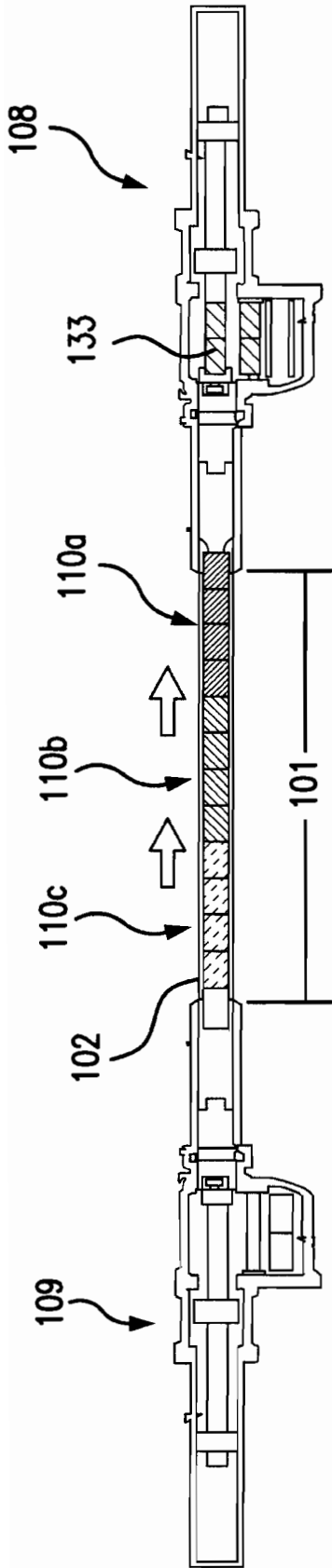


FIG. 5G

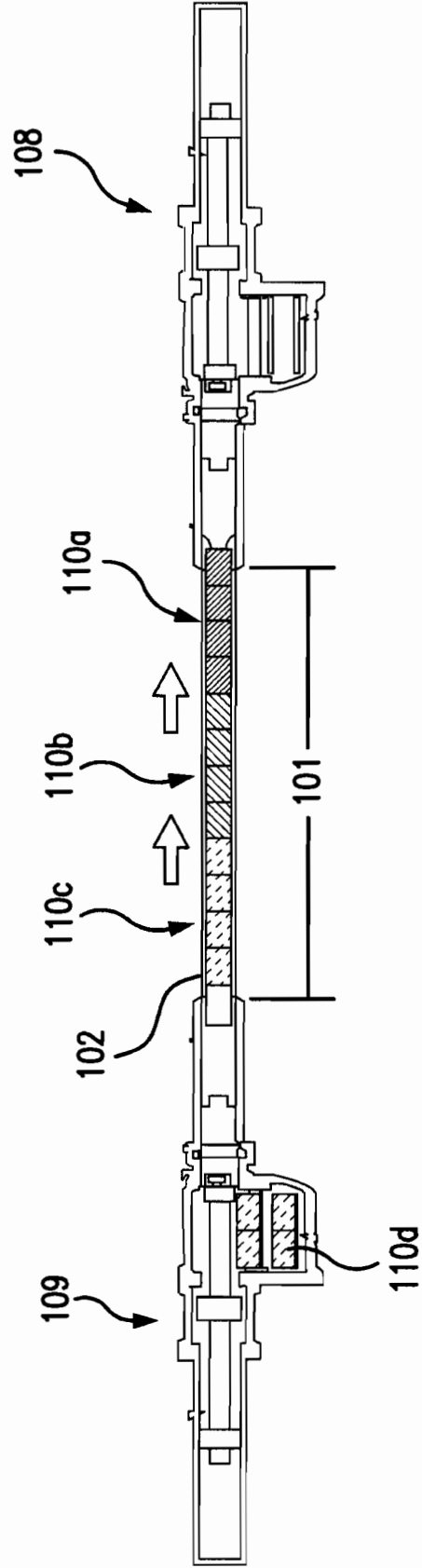


FIG. 5H

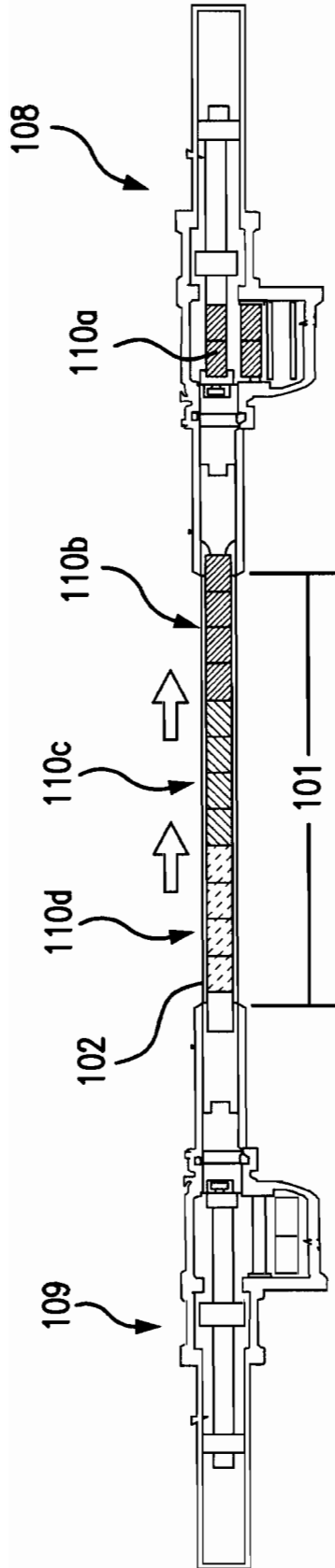


FIG. 51

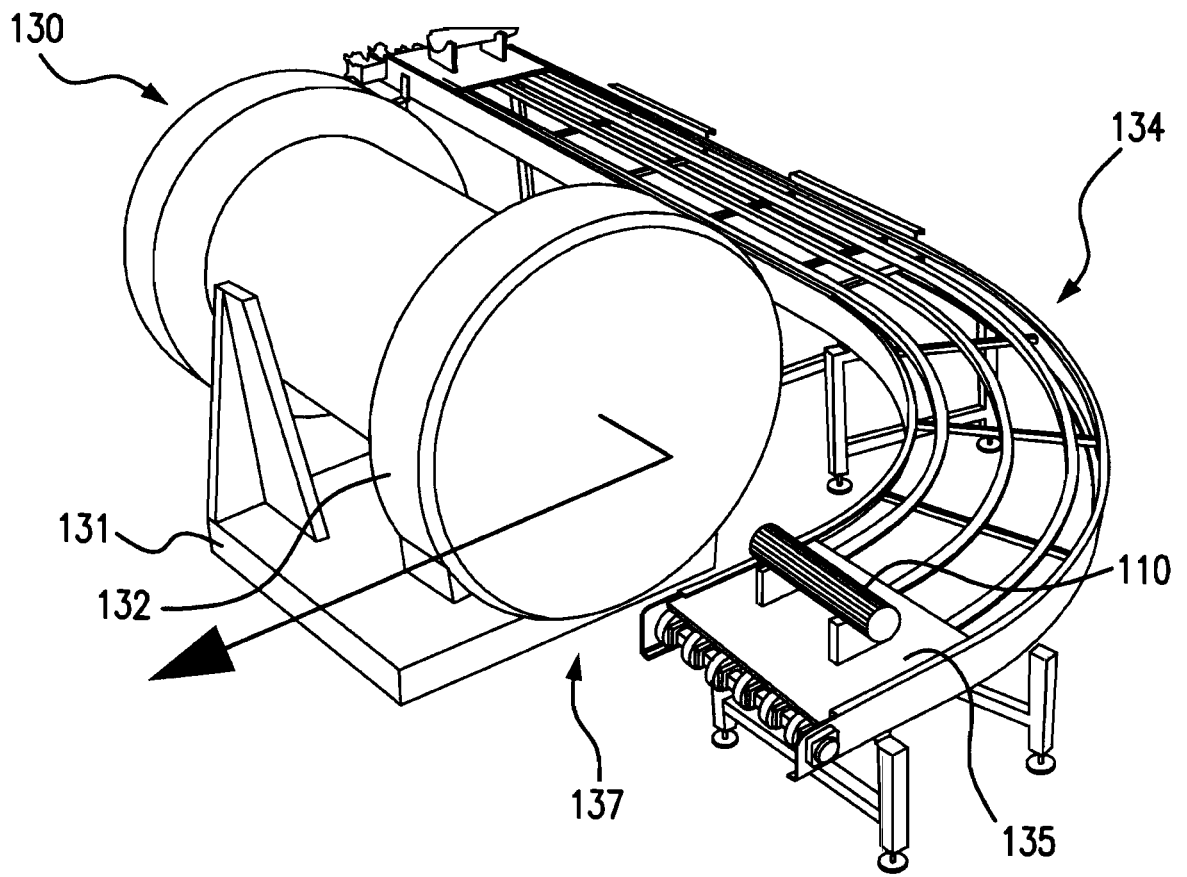


FIG. 6A

17/32

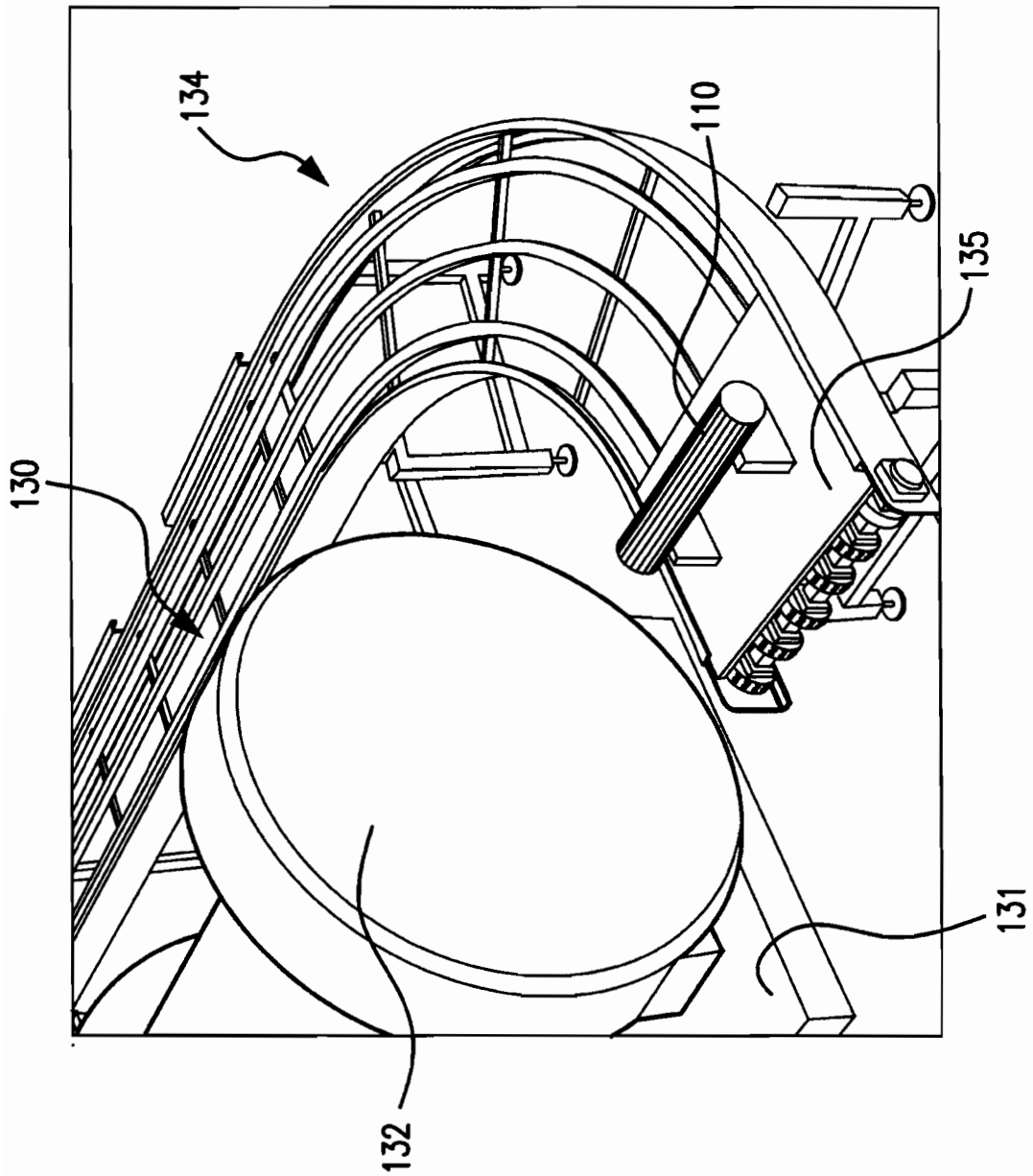


FIG. 6B

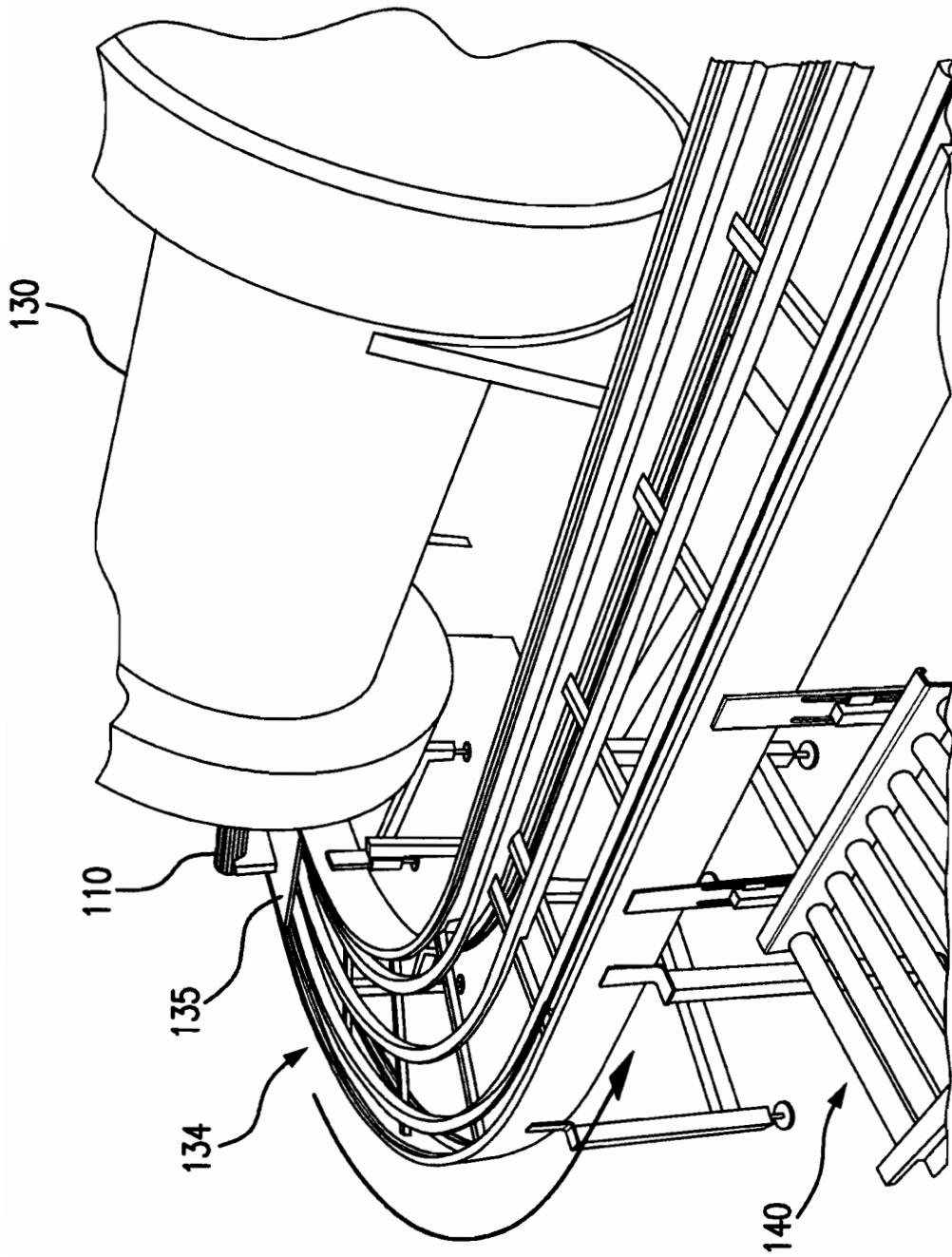


FIG. 6C

19/32

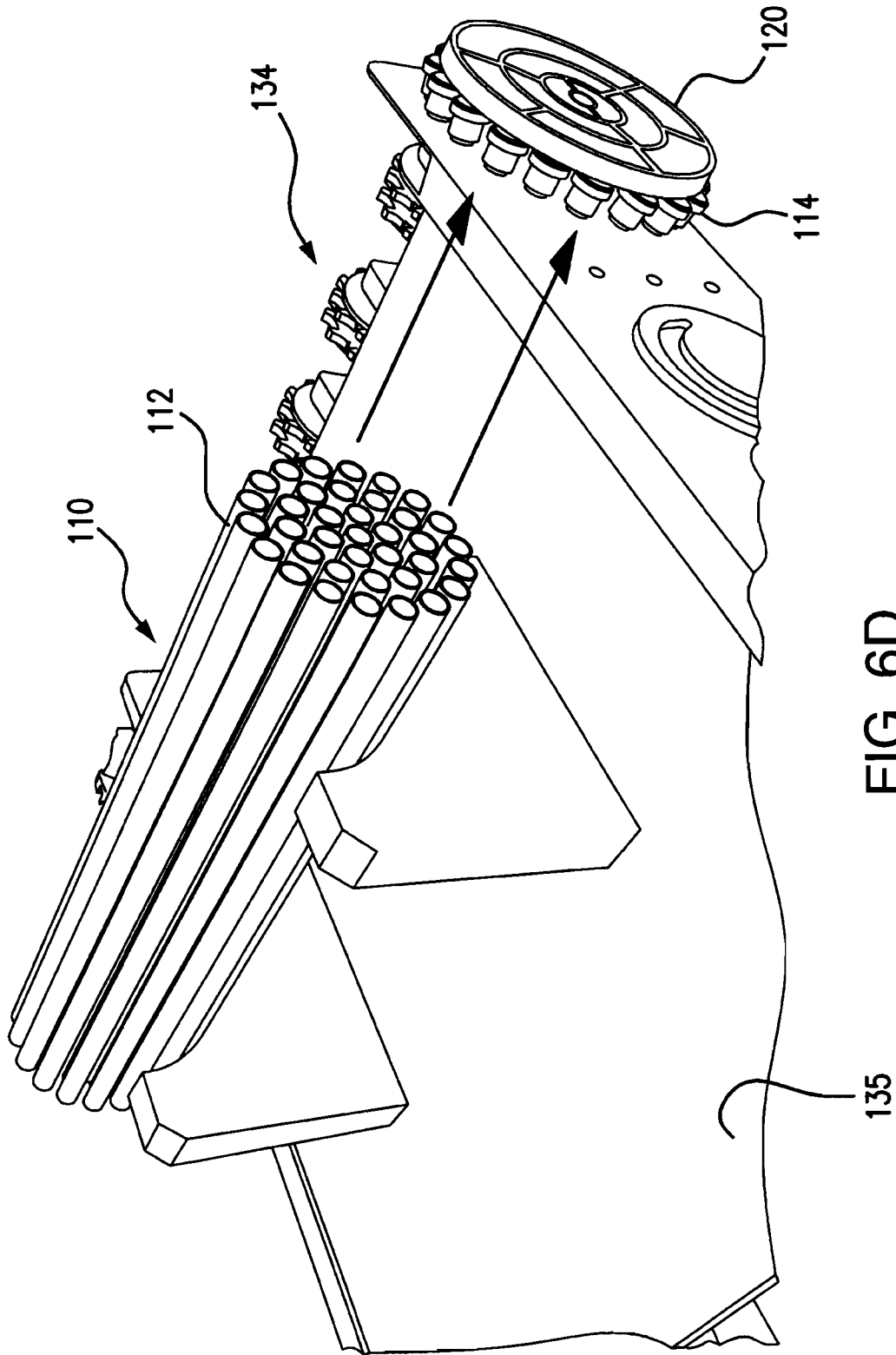


FIG. 6D

20/32

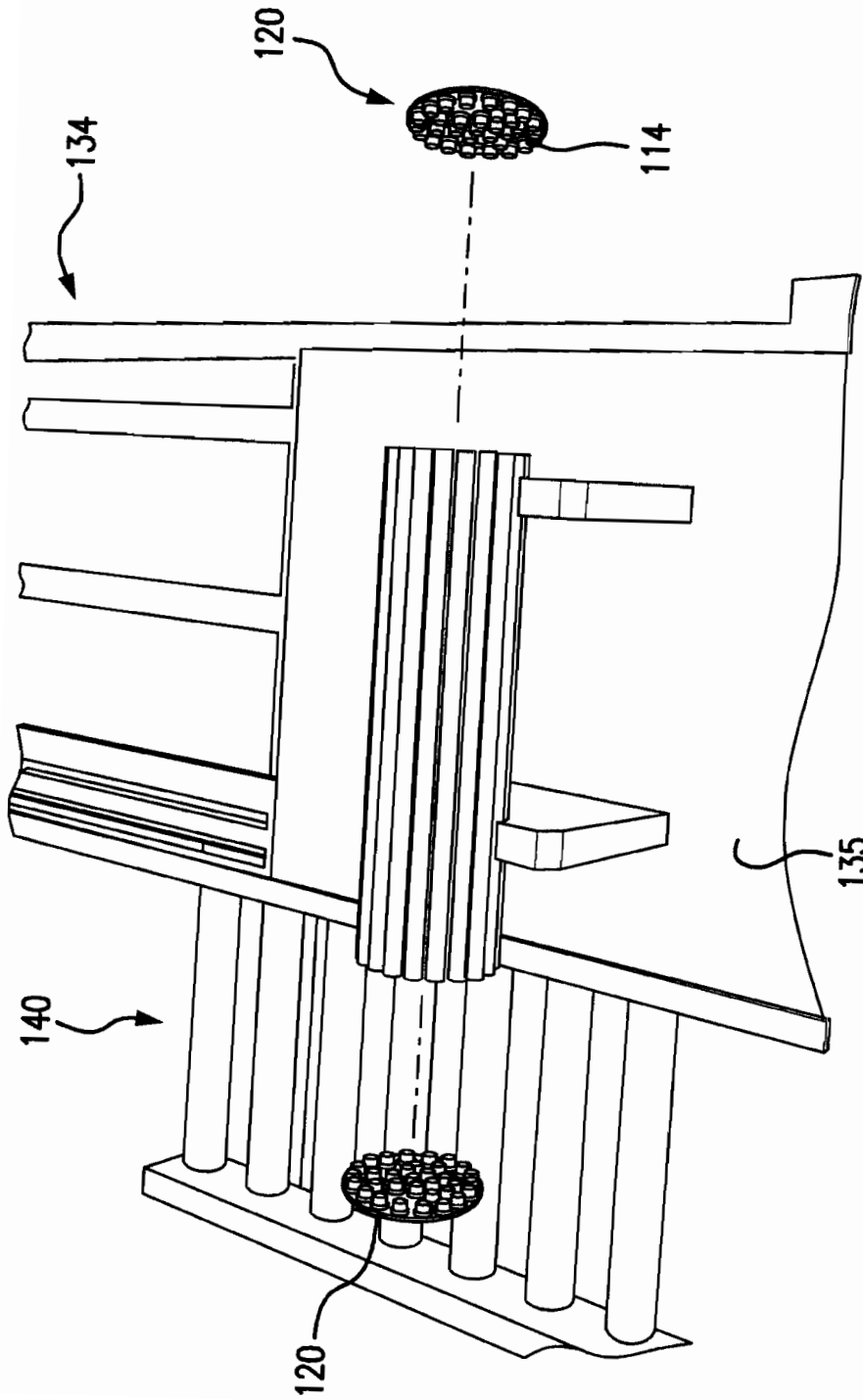


FIG. 6E

21/32

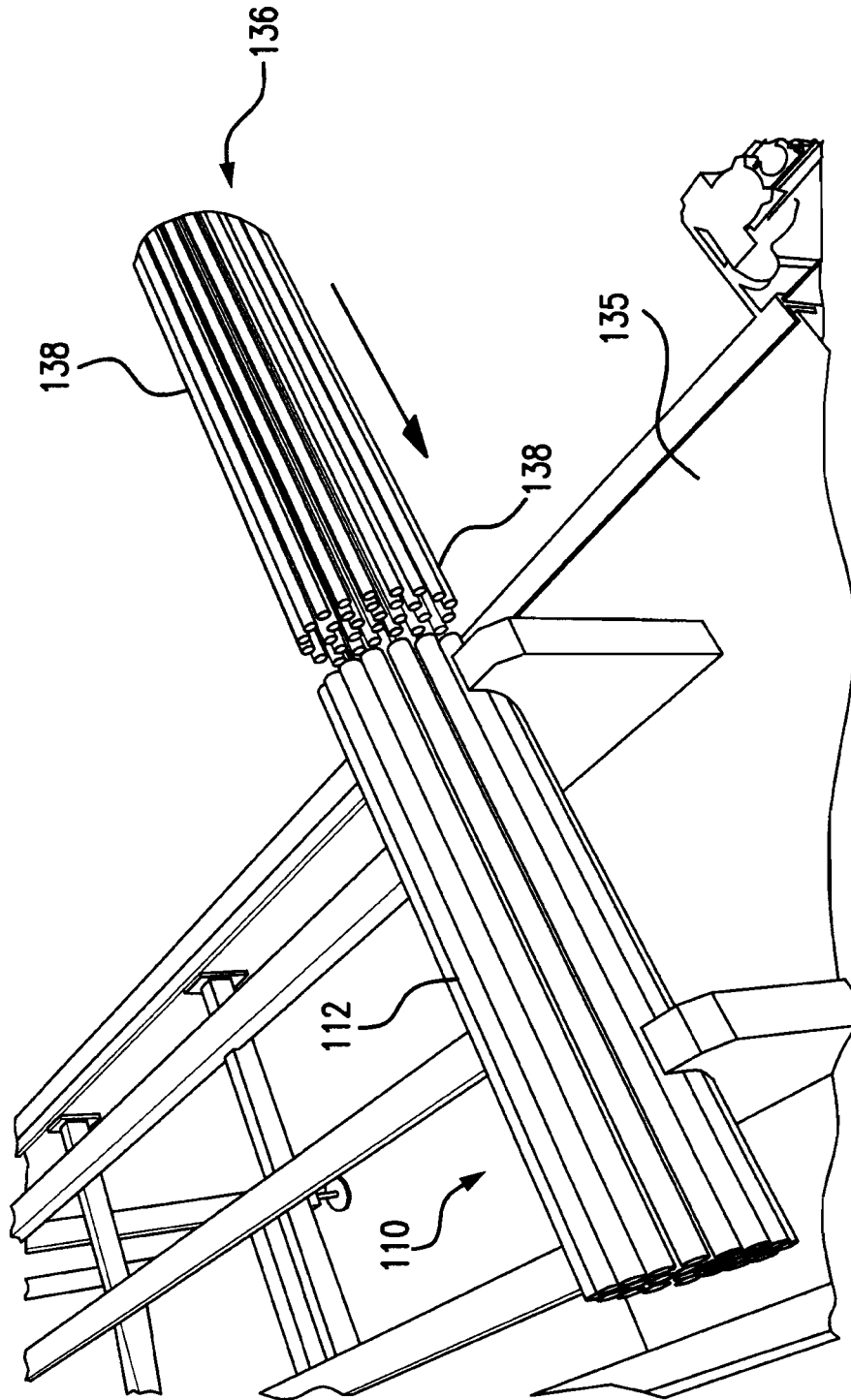


FIG. 6F

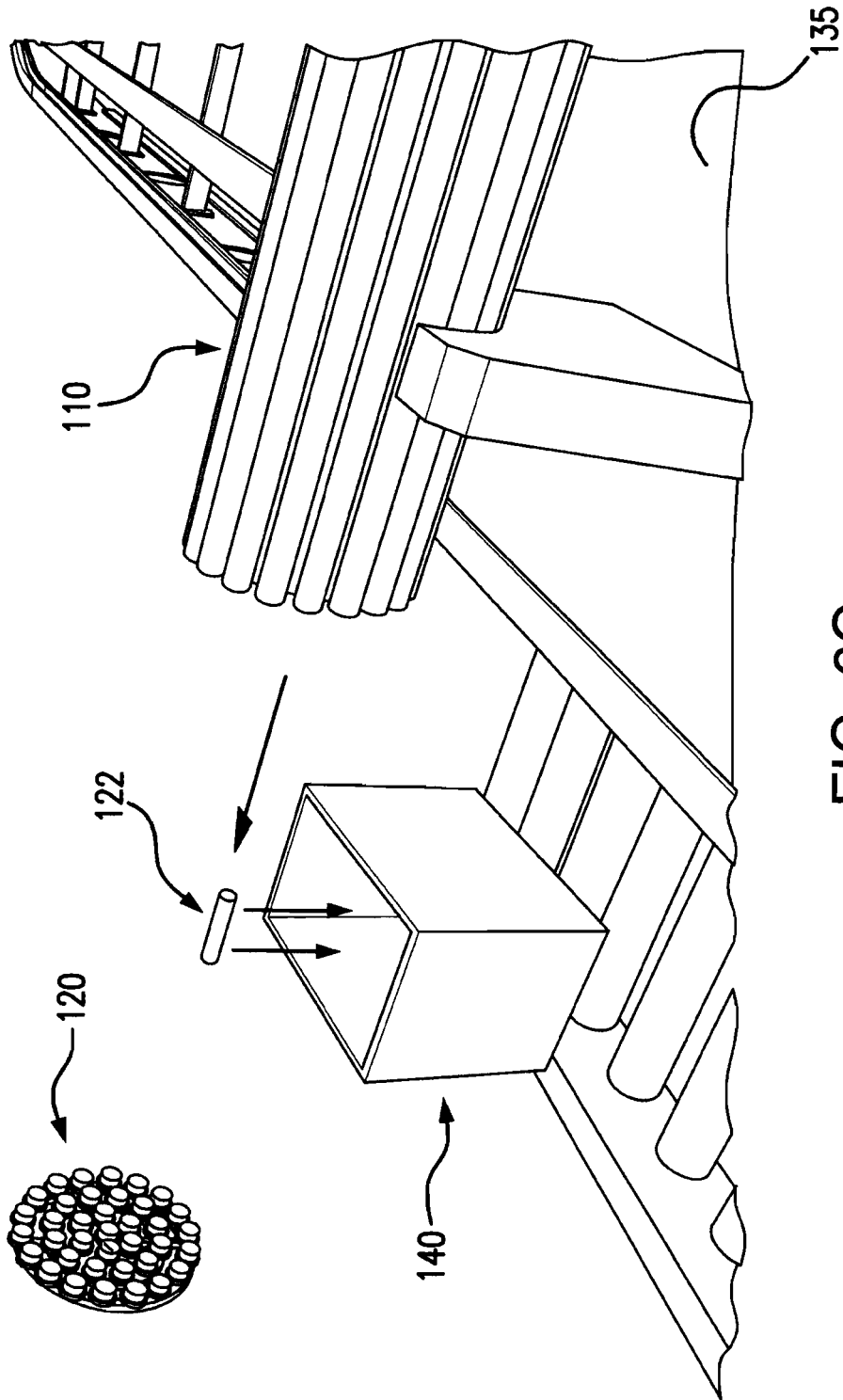


FIG. 6G

23/32

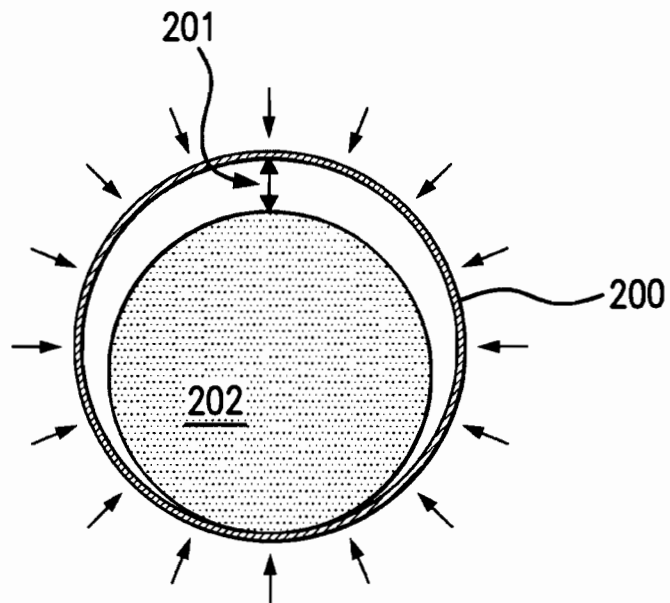


FIG. 7A
(PRIOR ART)

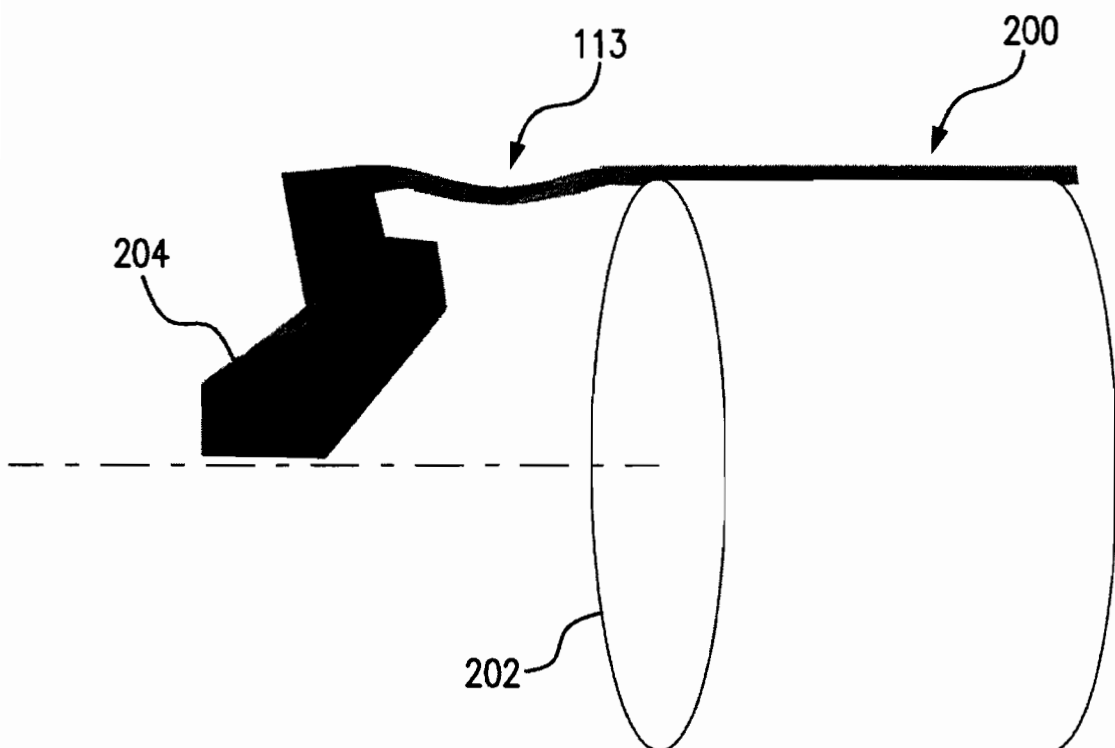


FIG. 7B
(PRIOR ART)

24/32

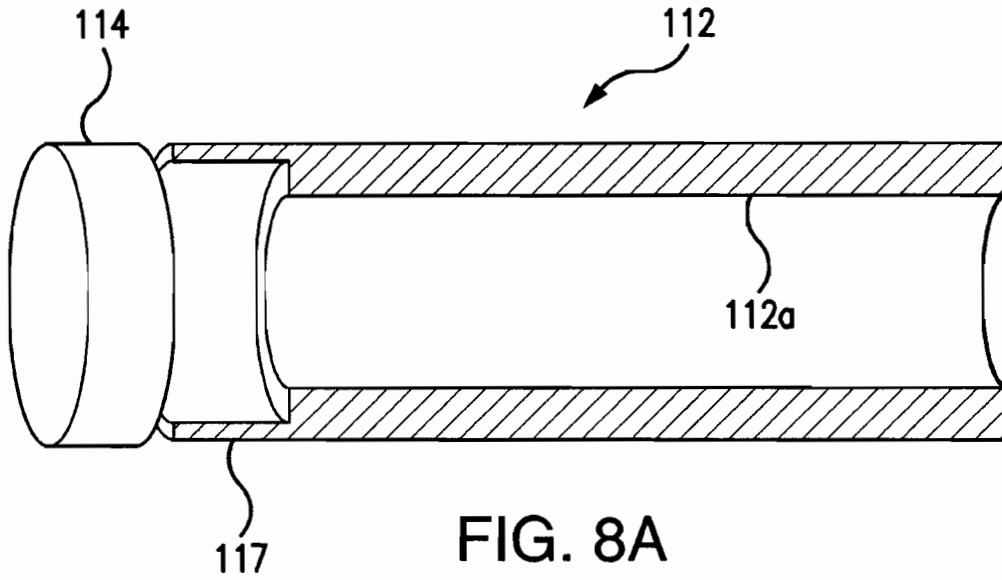


FIG. 8A

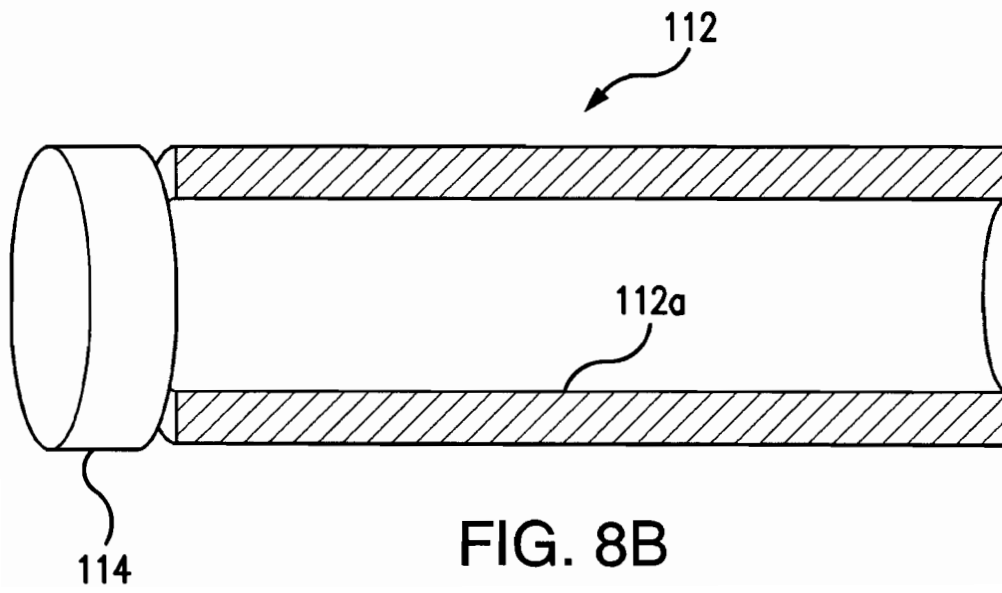


FIG. 8B

25/32

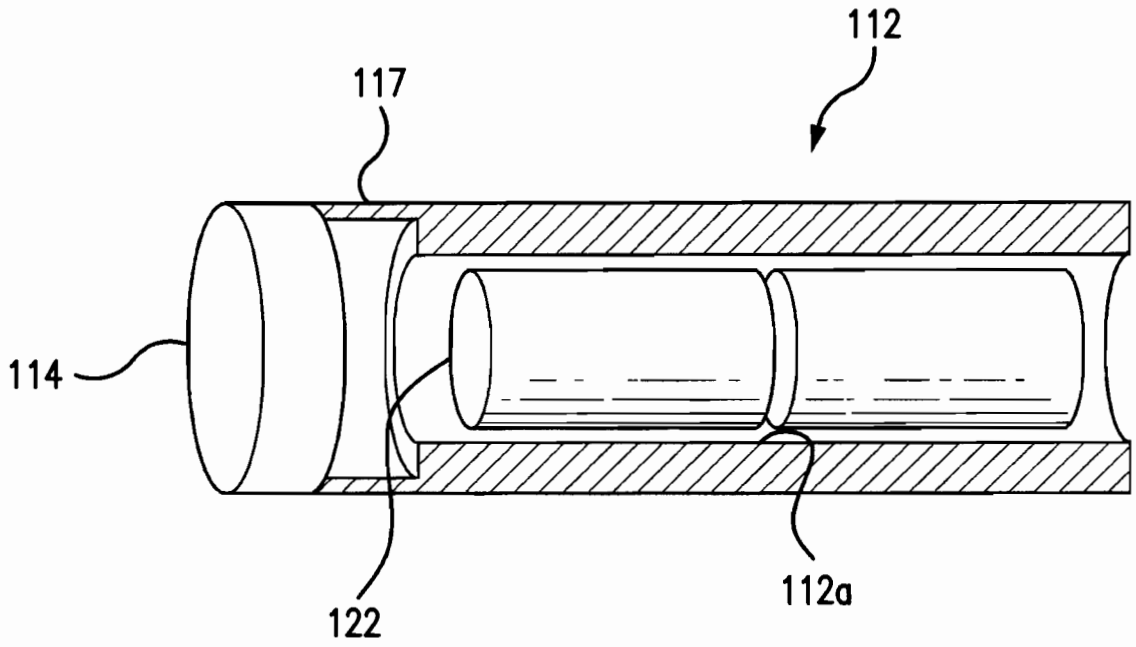


FIG. 9A

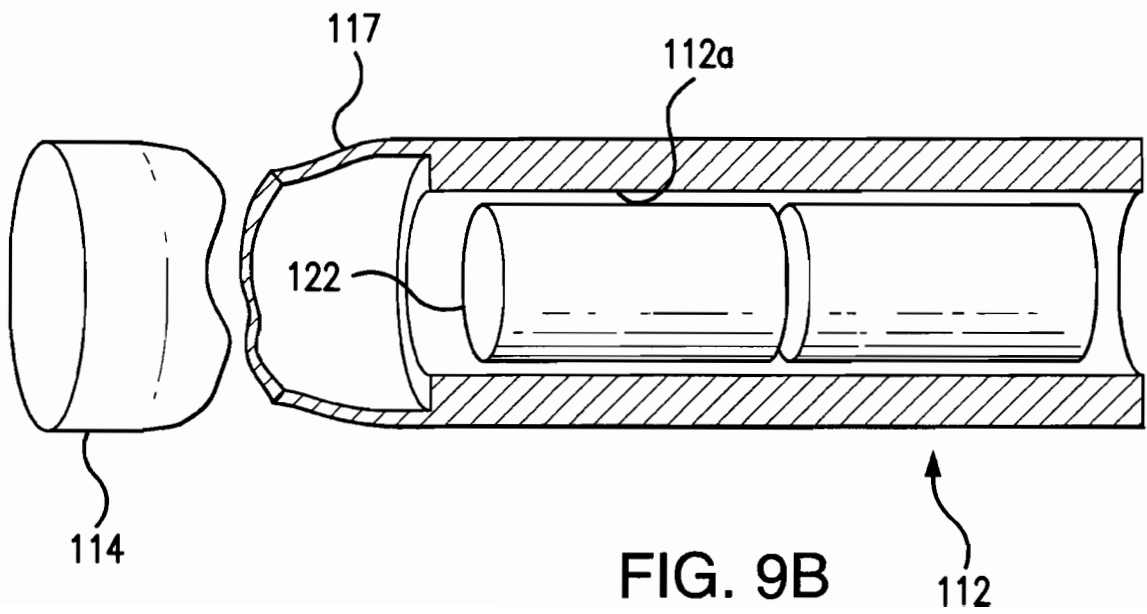


FIG. 9B

26/32

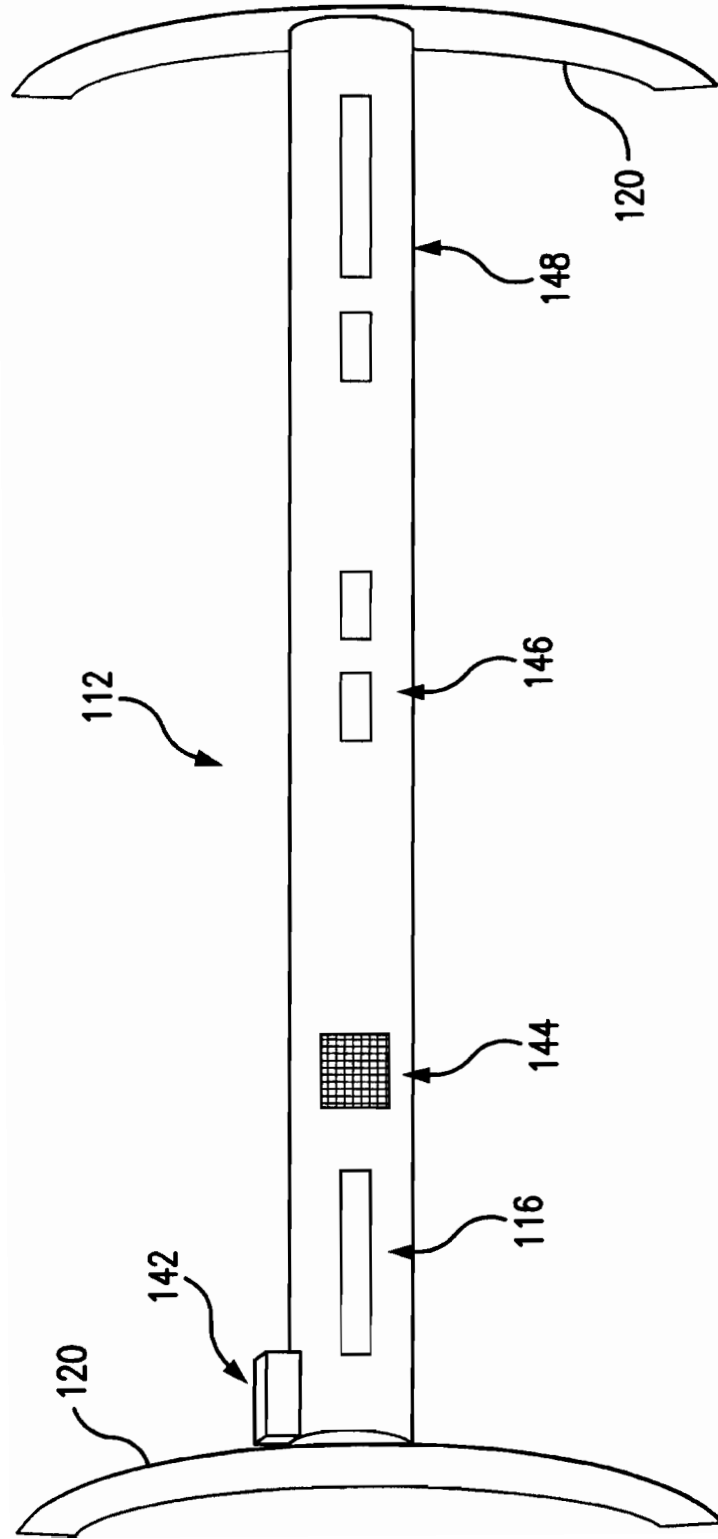


FIG. 10

27/32

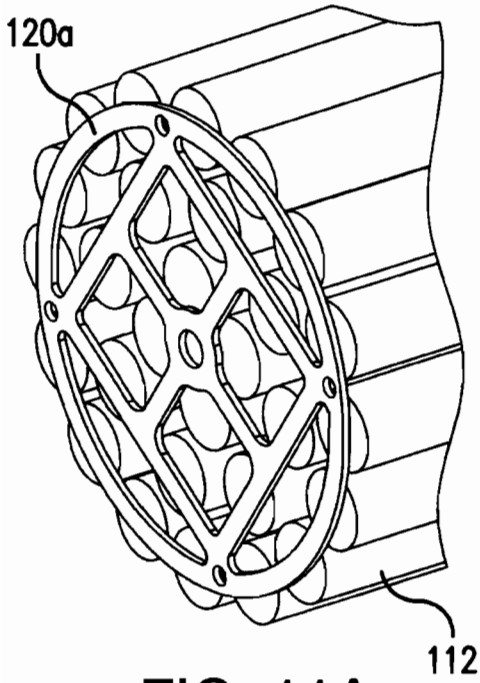


FIG. 11A

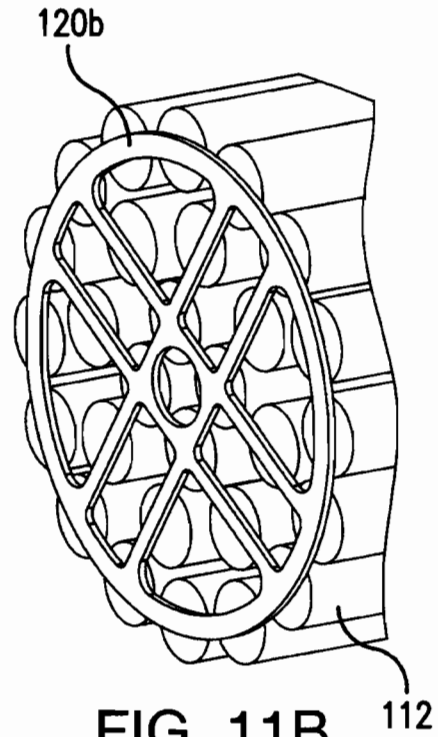


FIG. 11B

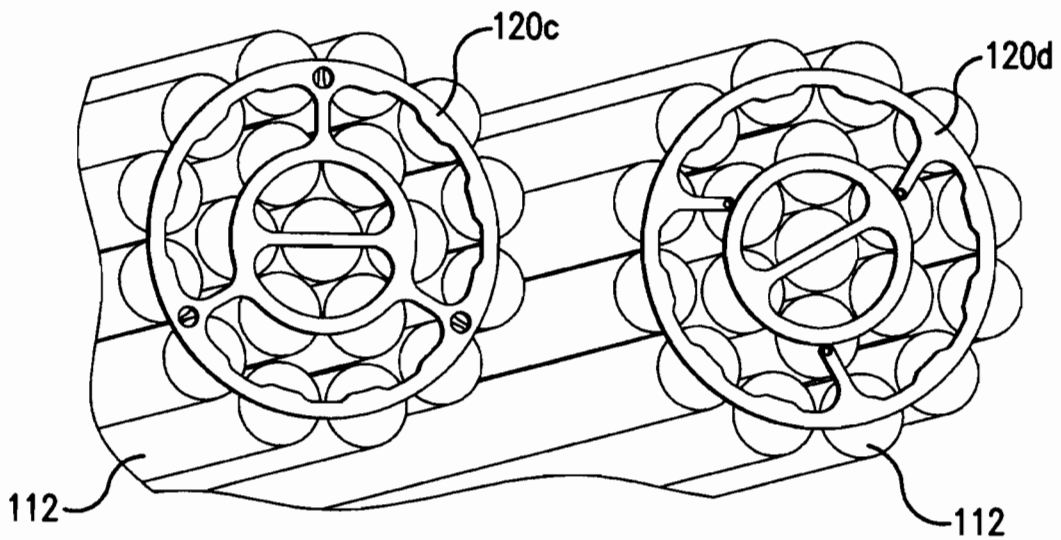


FIG. 11C

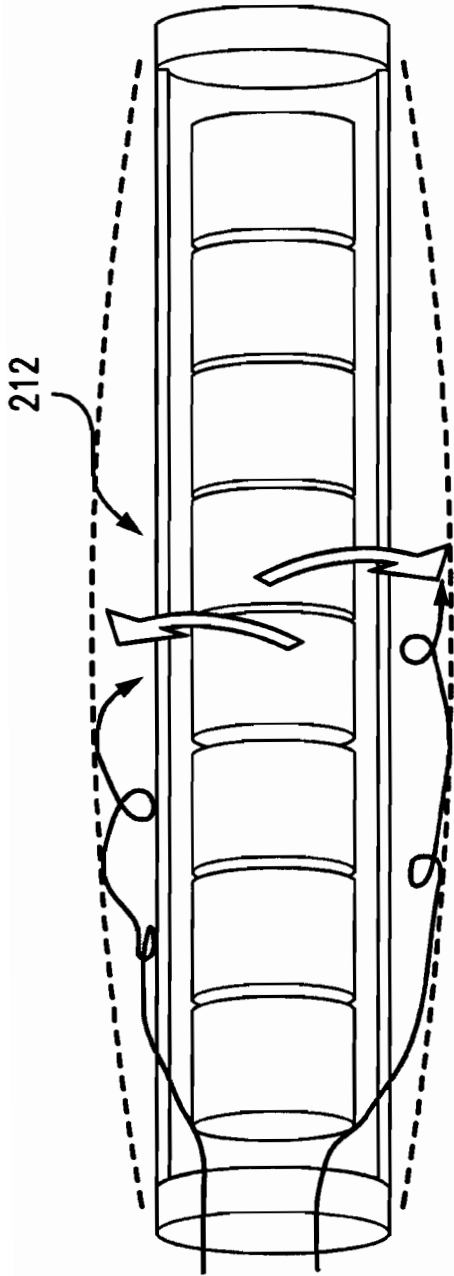


FIG. 12
(PRIOR ART)

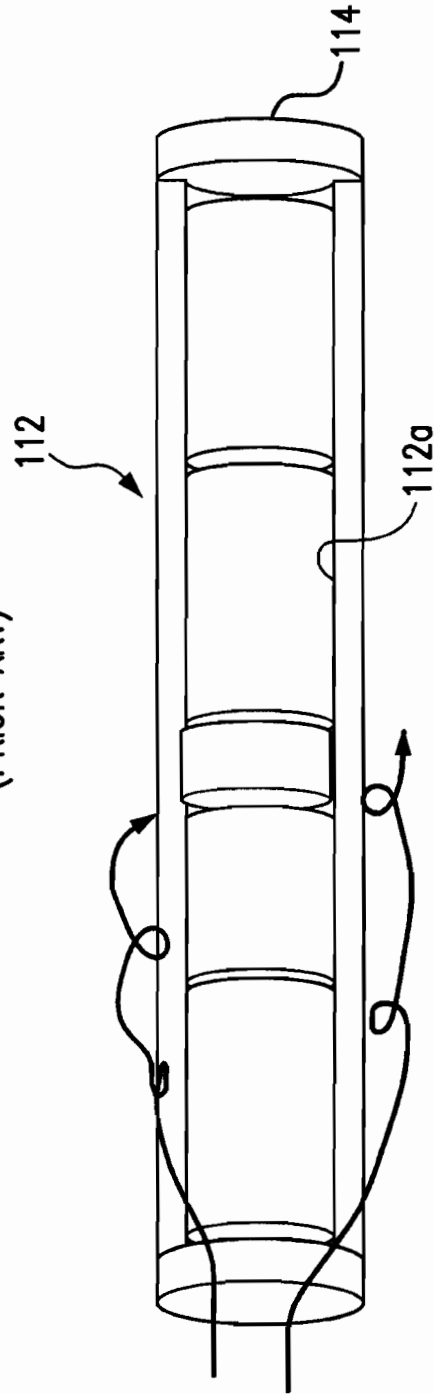


FIG. 13

29/32

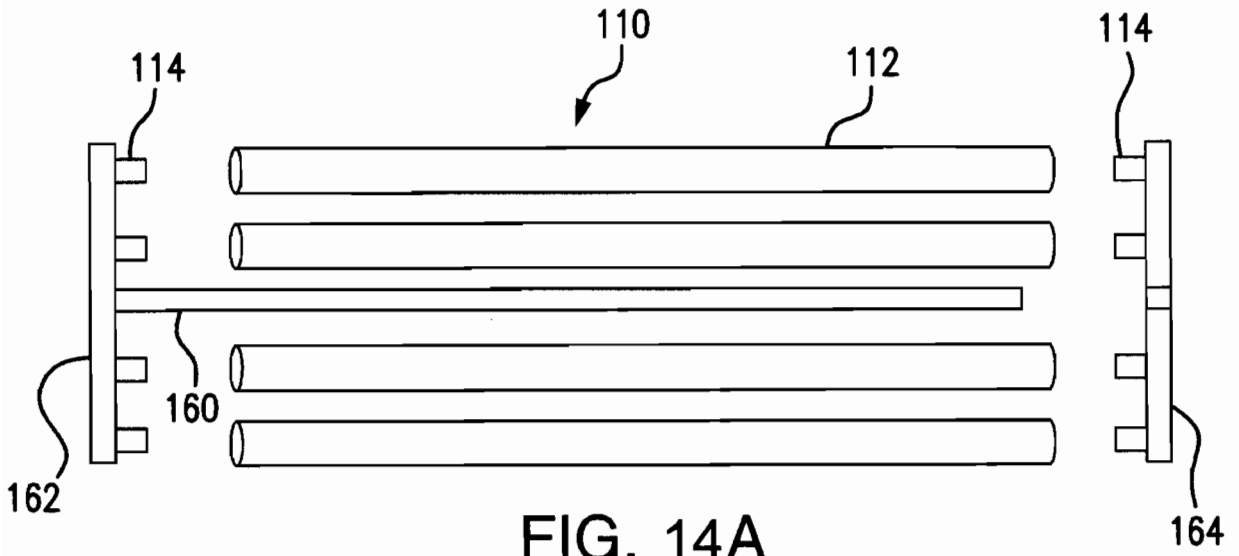


FIG. 14A

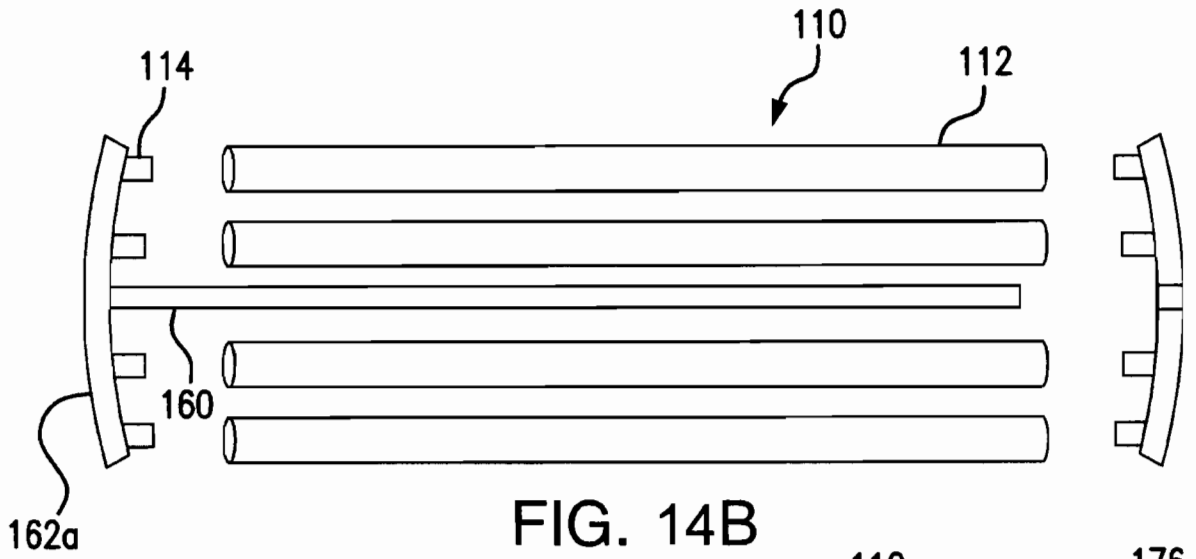


FIG. 14B

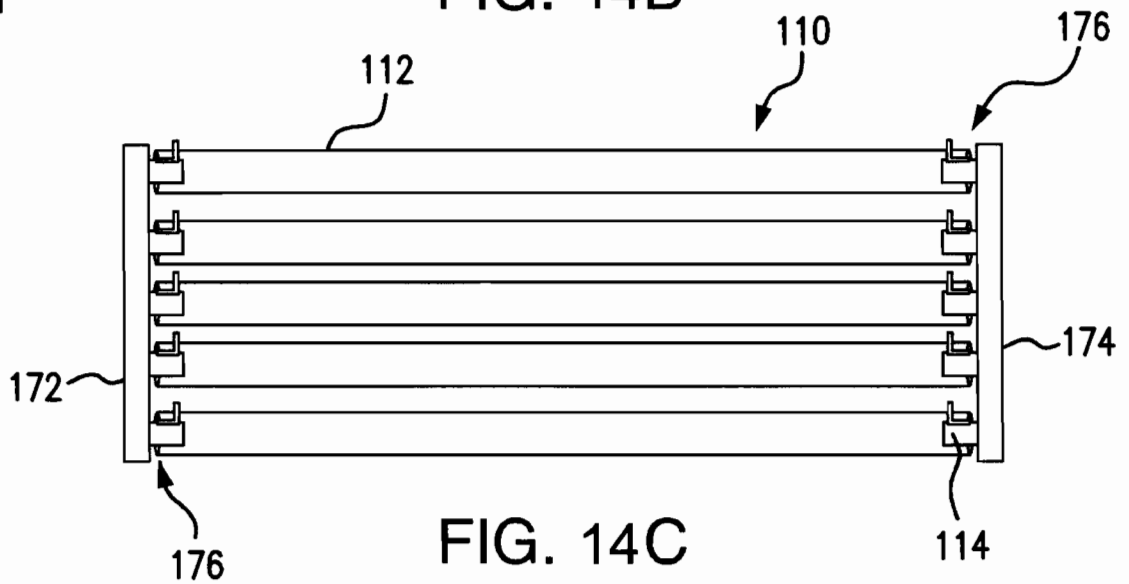


FIG. 14C

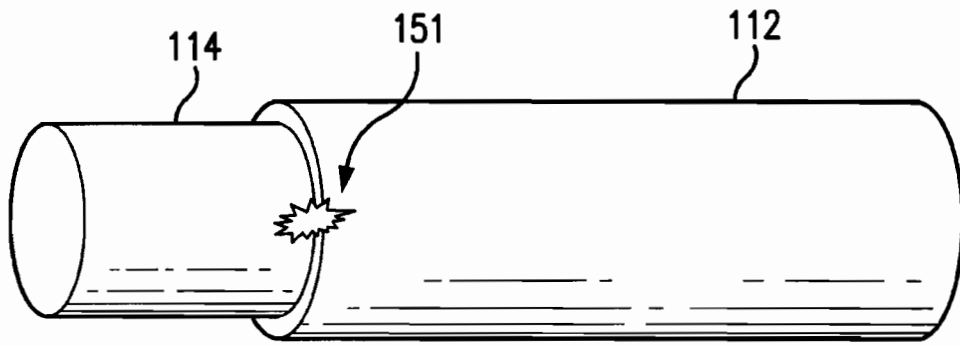


FIG. 15A

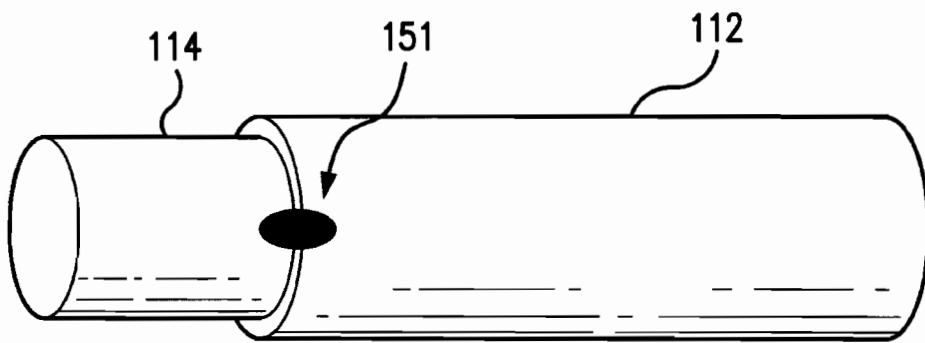


FIG. 15B

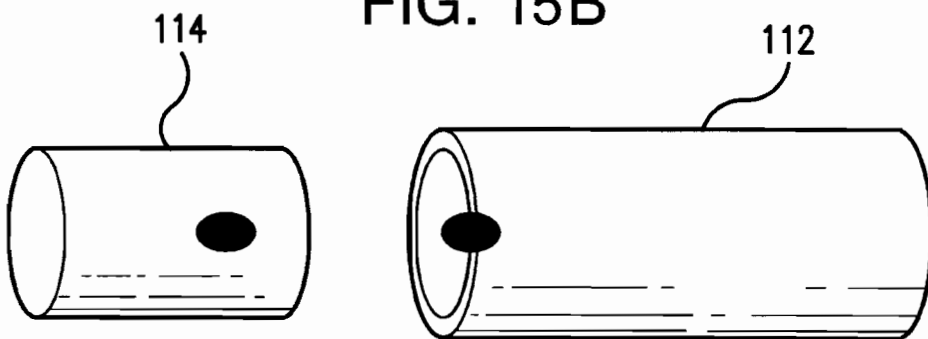


FIG. 15C

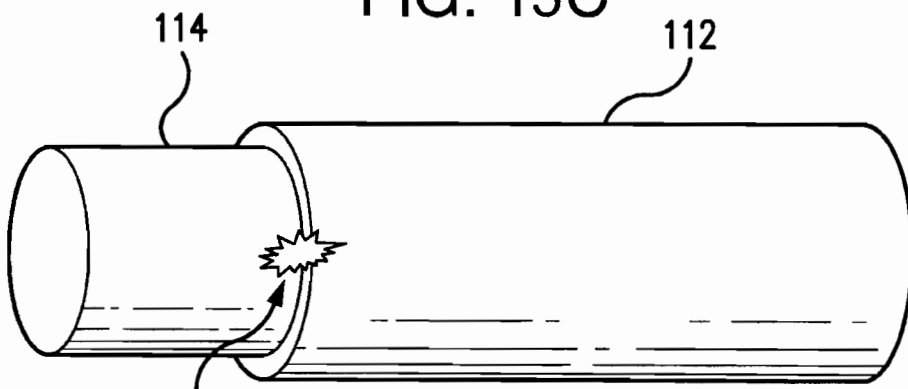


FIG. 15D

31/32

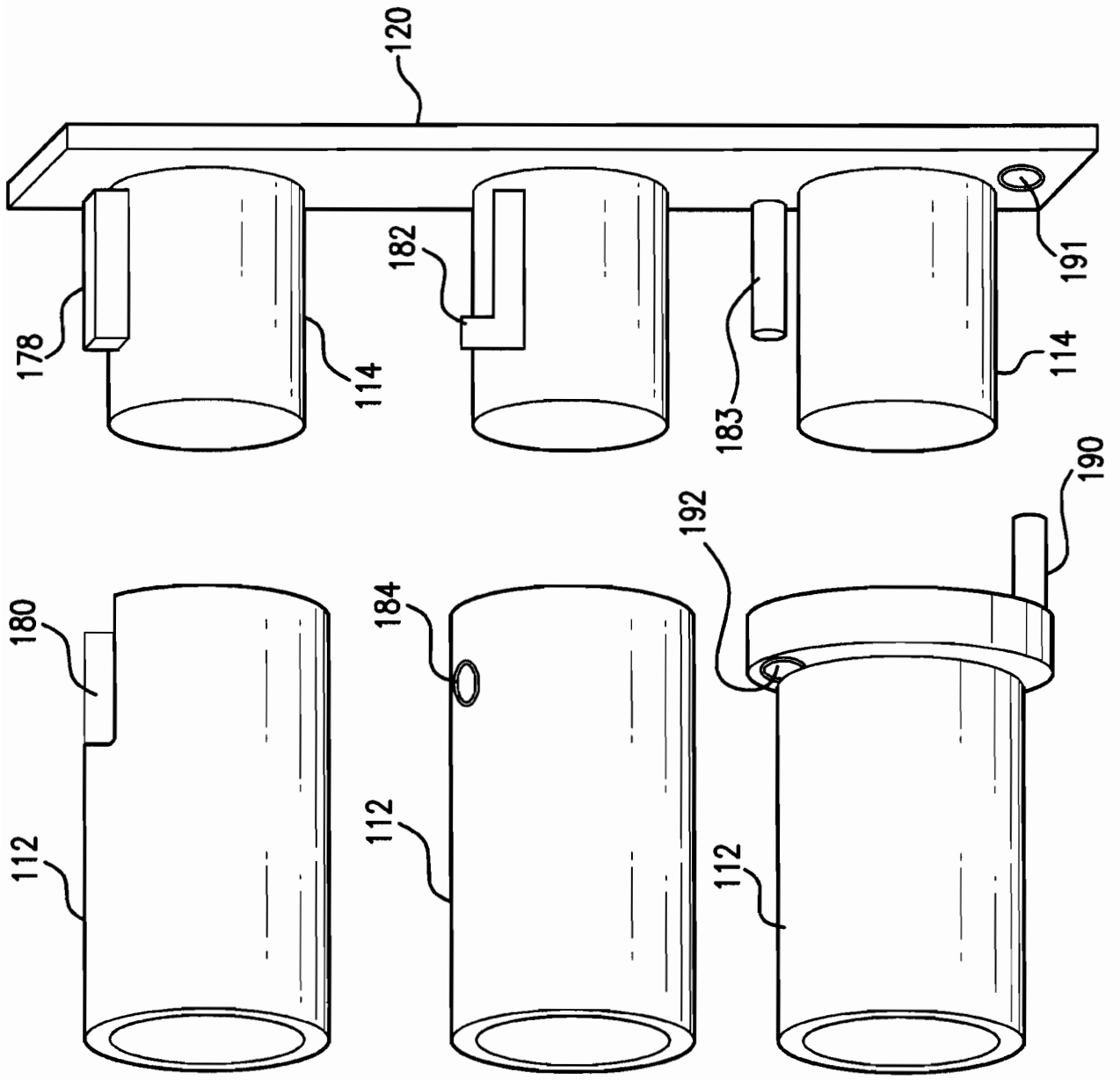


FIG. 16A

FIG. 16B

FIG. 16C

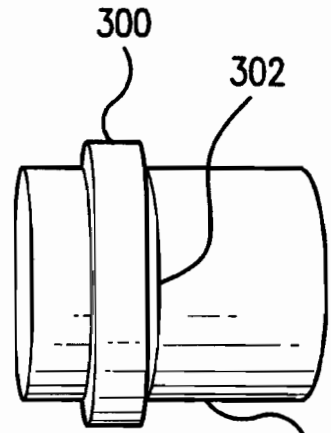
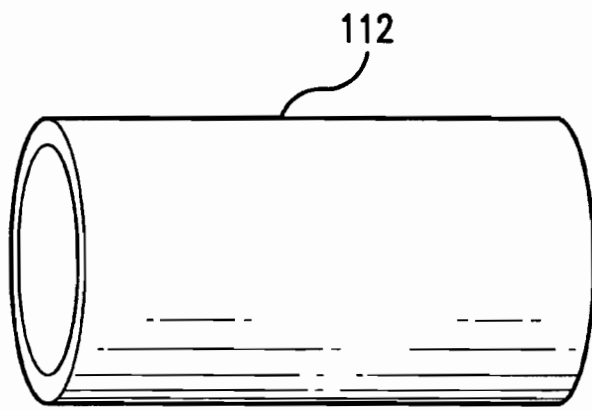


FIG. 17A

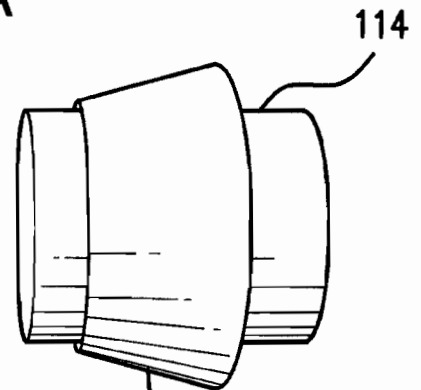
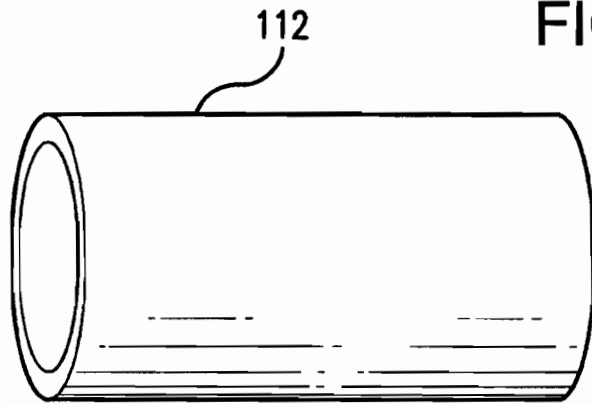


FIG. 17B

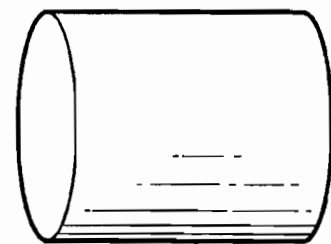
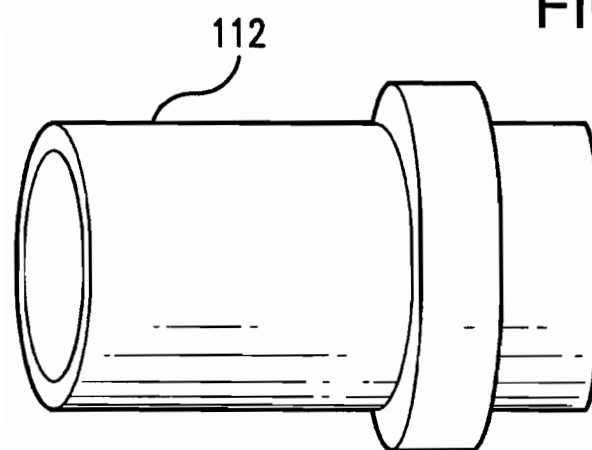


FIG. 17C

306

114