



(12) CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2013 00186

(22) Data de depozit: 03.09.2010

(41) Data publicării cererii:
30.12.2013 BOPI nr. 12/2013

(86) Cerere internațională PCT:
Nr. IB 2010/002501 03.09.2010

(87) Publicare internațională:
Nr. WO 2012/028900 08.03.2012

(71) Solicitant:
• ATOMIC ENERGY OF CANADA LIMITED,
2251 SPEAKMAN DRIVE, MISSISSAUGA,
ONTARIO, CA

(72) Inventatori:
• BOUBCHER MUSTAPHA,
4680 BRACKNELL ROAD, BURLINGTON,
ONTARIO, CA;
• KURAN SERMET, 946 PORCUPINE
AVENUE, MISSISSAUGA, ONTARIO, CA;

• COTTRELL CATHY, 79 THOROUGHbred
BOULEVARD, ANCASTER, ONTARIO, CA,
CA;
• BODNER ROBERT R., 2458 BLUE HOLLY
CRESCENT, OAKVILLE, ONTARIO, CA;
• HAMILTON HOLLY BRUCE, 6 AVON
CRESCENT, DEEP RIVER, ONTARIO, CA;
• HYLAND BRONWYN H., 19 CABOT
PLACE, P.O. BOX 2051, DEEP RIVER,
ONTARIO, CA;
• ARSENAULT BENOIT, 3016 REDSTART
DRIVE, MISSISSAUGA, ONTARIO, CA

(74) Mandatar:
NESTOR NESTOR DICULESCU
KINGSTON PETERSEN - CONSILIERE ÎN
P.I. S.R.L., ȘOS.BUCUREȘTI PLOIEȘTI
NR. 1A, BUCHAREST BUSINESS PARK,
CORP A, ET.1, CAMERELE 9 ȘI 10,
BUCUREȘTI

(54) FASCICUL DE COMBUSTIBIL NUCLEAR CONȚINÂND
TORIU, ȘI REACTOR NUCLEAR CUPRINZÂND UN ASTFEL
DE FASCICUL

(57) Rezumat:

Invenția se referă la un fascicul de combustibil nuclear, și la un reactor nuclear cuprinzând un astfel de fascicul. Fasciculul de combustibil nuclear, conform invenției, cuprinde un prim element de combustibil incluzând dioxid de toriu, un al doilea element de combustibil incluzând uraniu, având un prim conținut fisionabil, și un al treilea element de combustibil incluzând uraniu având un al doilea conținut fisionabil, diferit de primul conținut fisionabil. Uraniul având conținut fisionabil diferit poate include combinații de uraniu natural, uraniu sărăcit, uraniu reciclat, uraniu ușor îmbogățit și uraniu slab îmbogățit. Reactorul nuclear, conform invenției, care folosește un astfel de fascicul de combustibil, poate fi, de exemplu, un reactor nuclear cu apă grea sub presiune.

Revendicări: 73
Figuri: 8

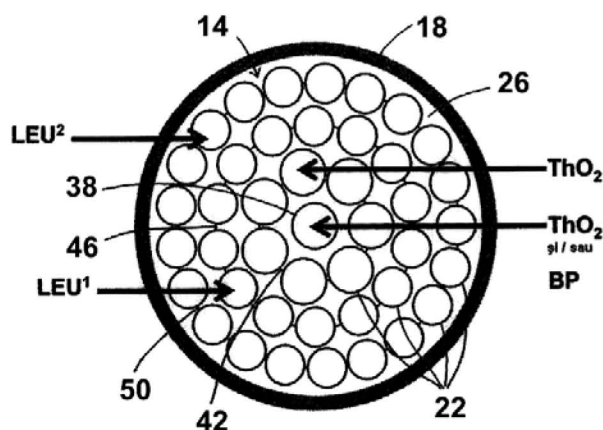


Fig. 1

Cu începere de la data publicării cererii de brevet, cererea asigură, în mod provizoriu, solicitantului, protecția conferită potrivit dispozițiilor art.32 din Legea nr.64/1991, cu excepția cazurilor în care cererea de brevet de invenție a fost respinsă, retrasă sau considerată ca fiind retrasă. Întinderea protecției conferite de cererea de brevet de invenție este determinată de revendicările conținute în cererea publicată în conformitate cu art.23 alin.(1) - (3).



FASCICUL DE COMBUSTIBIL NUCLEAR CONȚINÂND TORIU ȘI REACTOR NUCLEAR CUPRINZÂND UN ASTFEL DE FASCICUL

OFICIUL DE STAT PENTRU INVENȚII ȘI MĂRCI	
Cerere de brevet de invenție	
Nr.	a 2013 00186
Data depozit	03.09.2010

GENERALITĂȚI PRIVIND INVENȚIA

Prezenta invenție se referă la un fascicul de combustibil nuclear conținând toriu drept combustibil nuclear pentru utilizare într-un reactor nuclear.

Reactoarele nucleare generează energie dintr-o reacție nucleară în lanț (adică, fisiune nucleară) în care un neutron liber este absorbit de nucleul unui atom de fisiune într-un combustibil nuclear, cum ar fi Uraniu-235 (²³⁵U). Când neutronul liber este absorbit, atomul de fisiune se scindează în atomi mai ușori și eliberează mai mulți neutroni liberi pentru a fi absorbiți de alți atomi de fisiune, rezultând o reacție nucleară în lanț, după cum este bine înțeles din stadiul tehnicii. Energia termică eliberată din reacția nucleară în lanț este transformată în energie electrică printr-un număr de alte procese, de asemenea, bine cunoscute specialiștilor în domeniu.

În unele exemple de realizare ale prezentei invenții, este furnizat un fascicul de combustibil pentru un reactor nuclear, și cuprinde un prim element de combustibil incluzând dioxid de toriu; un al doilea element de combustibil incluzând uraniu având un prim conținut fisionabil; și un al treilea element de combustibil incluzând uraniu având un al doilea conținut fisionabil diferit de primul conținut fisionabil.

Unele exemple de realizare ale prezentei invenții asigură metode de fabricare și de utilizare a unui fascicul de combustibil pentru un reactor nuclear care are un prim element de combustibil conținând dioxid de toriu; un al doilea element de combustibil incluzând uraniu având un prim conținut fisionabil; și un al treilea element de combustibil incluzând uraniu având un al doilea conținut fisionabil diferite de primul conținut fisionabil.

De asemenea, unele exemple de realizare a prezentei invenții dau un reactor nuclear având cel puțin un fascicul de combustibil având un prim element de combustibil incluzând dioxid de toriu; un al doilea element de combustibil incluzând uraniu având un prim conținut fisionabil; și un al treilea element de combustibil incluzând uraniu având un al doilea conținut fisionabil diferit de primul conținut fisionabil.

În unele exemple de realizare, oricare dintre fasciculele de combustibil și metodele descrise anterior sunt utilizate într-un reactor cu apă grea sub presiune, cum ar fi fasciculele de combustibil având un prim element de combustibil incluzând dioxid

de toriu; un al doilea element de combustibil incluzând uraniu având un prin conținut fisionabil; și un al treilea element de combustibil incluzând uraniu având un al doilea conținut fisionabil diferit de primul conținut fisionabil, în care fasciculele de combustibil sunt localizate într-unul sau mai multe tuburi cu apă sub presiune care trec peste fasciculele de combustibil, absorb căldura de la fasciculele de combustibil și acționează la ieșirea din fasciculele de combustibil.

Alte aspecte ale prezentei invenții vor deveni aparente după analiza descrierii detaliate și a desenelor care însoțesc descrierea.

DESCRIREA PE SCURT A DESENELOR

FIG. 1 reprezintă o vedere în secțiune transversală a unui prim exemplu de realizare a unui fascicul de combustibil nuclear conform invenției.

FIG. 2 reprezintă o vedere în secțiune transversală a unui al doilea exemplu de realizare a unui fascicul de combustibil nuclear conform invenției.

FIG. 3 reprezintă o vedere în secțiune transversală a unui al treilea exemplu de realizare a unui fascicul de combustibil nuclear conform invenției.

FIG. 4 reprezintă o vedere în secțiune transversală a unui al patrulea exemplu de realizare a unui fascicul de combustibil nuclear conform invenției.

FIG. 5 reprezintă o vedere în secțiune transversală a unui al cincilea exemplu de realizare a unui fascicul de combustibil nuclear conform invenției.

FIG. 6 reprezintă o vedere în secțiune transversală a unui al șaselea exemplu de realizare a unui fascicul de combustibil nuclear conform invenției.

FIG. 7 reprezintă o vedere în secțiune transversală a unui al șaptelea exemplu de realizare a unui fascicul de combustibil nuclear conform invenției.

FIG. 8 este o diagramă schematică a unui reactor nuclear care utilizează oricare dintre fasciculele de combustibil din Figurile 1 – 7.

DESCRIEREA DETALIATĂ

Înainte de a explica în detaliu oricare dintre exemplele de realizare a invenției, se va înțelege că invenția nu este limitată în aplicarea sa la detaliile realizării și ale aranjării

componentelor stabilite în următoarea descriere sau ilustrate în desenele însoțitoare. Invenția se poate realiza și în alte moduri de realizare și poate să fie practică și să fie realizată în diferite feluri.

Figurile 1 – 7 ilustrează diferite exemple de realizare ale unui fascicul de combustibil nuclear pentru utilizare într-un reactor nuclear, cum ar fi un reactor 10 cu apă grea sub presiune (ex. un reactor nuclear de tip Canadian Deuterium Uranium (CANDU)), o porțiune a căruia este prezentată schematic în FIG. 8. Următoarea descriere a diferitelor exemple de realizare a prezentei invenții este dată în contextul unui reactor cu apă grea sub presiune având tuburi orizontale presurizate în care sunt poziționate fasciculele 14 de combustibil. Acest mediu al reactorului nuclear și aplicarea fasciculelor de combustibil conform prezentei invenții este prezentat doar în scopul exemplificării, fiind înțeles că prezenta invenție este aplicabilă fasciculelor de combustibil adaptate pentru utilizare în alte tipuri de reactoare.

Făcând referire la FIG. 8, miezul reactorului 10 cu apă grea sub presiune conține unul sau mai multe fascicule 14 de combustibil. Dacă reactorul 10 include o multitudine de fascicule 14 de combustibil, fasciculele 14 pot fi plasate capăt la capăt în interiorul unui tub 18 sub presiune. În alte tipuri de reactoare, fasciculele 14 de combustibil pot fi aranjate în alte moduri, după cum se dorește. Fiecare fascicul 14 de combustibil conține un set de elemente 22 de combustibil (uneori menționate ca „picioare”) fiecare conținând un combustibil nuclear și/sau alte elemente sau chimicale (ex. o otrăvă inflamabilă), care vor fi descrise mai în detaliu în continuare în raport cu Figurile 1-7. Când reactorul 10 este în funcțiune, un agent de răcire 26 de tip apă grea curge peste fasciculele 14 de combustibil pentru a răci elementele de combustibil și pentru a îndepărta căldura din procesul de fisiune. Agentul de răcire 26 poate, de asemenea, să transfere căldura către un generator 30 de abur care acționează un motor primar, cum ar fi o turbină 34, pentru a produce energie electrică.

Cererea canadiană de brevet de invenție nr. 2.174.983, depusă în 25 aprilie 1996, descrie alte fascicule de combustibil pentru un reactor nuclear utilizate într-un mod asemănător cu fasciculele 14 de combustibil ale invenției descrise și exemplificate aici. Conținutul cererii canadiene de brevet de invenție nr. 2.174.983 este încorporat aici prin referință.

Figurile 1-7 ilustrează vederi în secțiune transversală ale diferitelor exemple de realizare a fasciculului 14 de combustibil poziționat în tubul 18 de presiune. Agentul de

răcire 26 de tip apă grea este conținut în tubul 18 de presiune și ocupă subcanalele dintre elementele 22 de combustibil. Elementele 22 de combustibil pot include un element central 38, o primă multitudine de elemente 42 poziționate radial către exterior față de elementul central 38, o a doua multitudine de elemente 46 poziționate radial către exterior față de prima multitudine de elemente 42 și o a treia multitudine de elemente 50 poziționate radial către exterior față de a doua pluralitate de elemente 46. Se înțelege că în alte exemple de realizare, fasciculul de combustibil poate include mai puține sau mai multe elemente și poate include și elemente în alte configurații decât acelea ilustrate în Figurile 1-7. Spre exemplu, elementele 22 de combustibil pot fi poziționate în paralel unul cu celălalt într-unul sau mai multe planuri, elemente aranjate într-o matrice sau serie având formă bloc sau orice altă formă și elemente în orice alt model sau configurație fără model. Tubul 18 de presiune, fasciculul 14 de combustibil și/sau elementele 22 de combustibil pot fi, de asemenea, configurate în diferite forme sau mărimi. Spre exemplu, tuburile 18 de presiune, fasciculele 14 de combustibil și elementele 22 de combustibil pot avea orice forme în secțiune transversală (altele decât formele rotunde arătate în Figurile 1-7) și mărimi, după cum se dorește. Ca un alt exemplu, tuburile 18 de presiune și fasciculele 14 de combustibil pot avea orice dimensiuni relative (altele decât dimensiunea uniformă sau versiunile cu două dimensiuni ale tuburilor 18 de presiune și elementelor 22 de combustibil arătate în Figurile 1-7).

În fiecare dintre exemplele de realizare din Figurile 1 – 6 este ilustrat un fascicul 14 de combustibil cu 43 de elemente. Prima multitudine de elemente 42 include șapte elemente aranjate paralel unele față de altele într-un model în general circular. A doua multitudine de elemente 46 include paisprezece elemente aranjate paralel unele față de altele într-un model în general circular. A treia multitudine de elemente 50 include douăzeci și unul de elemente aranjate paralel unele față de altele într-un model în general circular. Elementul central 38, prima multitudine de elemente 42, a doua multitudine de elemente 46 și a treia multitudine de elemente 50 sunt aranjate concentric astfel încât toate elementele 22 sunt dispuse paralel unele cu altele. Elementul central 38 și fiecare din prima multitudine de elemente 42 au o primă dimensiune în secțiune transversală (sau diametru, în cazul elementelor care au o formă rotundă în secțiune transversală) și fiecare din a doua multitudine de elemente 46 și a treia multitudine de elemente 50 are o a doua dimensiune în secțiune transversală (sau diametru, în cazul elementelor care au o formă rotundă în secțiune transversală)

diferită de prima dimensiune în secțiune transversală. În special, prima dimensiune în secțiune transversală este mai mare decât a doua dimensiune în secțiune transversală. În această privință, termenul „formă în secțiune transversală” se referă la forma în secțiune transversală generată de un plan care trece prin corpul raportat la o orientare care este perpendiculară pe o axă longitudinală a corpului. De asemenea, trebuie să se înțeleagă că liniile incluse în Figurile 1 – 6 indicând poziția general circulară a elementelor 22 sunt date doar în scop exemplificativ și că acestea nu indică, în mod necesar, că elementele sunt legate împreună sau sunt altfel cuplate într-un aranjament special.

În modul de realizare din Fig. 7, este ilustrat un fascicul de combustibil cu 37 de elemente în care toate elemente 22 de combustibil au o dimensiune uniformă în secțiune transversală (sau un diametru, în cazul elementelor având o formă rotundă în secțiune transversală). Prima multitudine de elemente 42 include șase elemente aranjate în paralel unele cu altele într-un model în general circular. A doua multitudine de elemente 46 include doisprezece elemente aranjate în paralel unele cu altele într-un model în general circular. A treia multitudine de elemente 50 include optsprezece elemente aranjate în paralel unele cu altele într-un model în general circular. Elementul central 38, prima multitudine de elemente 42, a doua multitudine de elemente 46 și a treia multitudine de elemente 50 sunt aranjate concentric astfel încât toate elementele 22 sunt în paralel unele cu altele. Trebuie să se înțeleagă că liniile incluse în Fig. 7 indicând poziția general circulară a elementelor 22 sunt doar pentru scop ilustrativ și nu indică în mod necesar că elementele sunt legate împreună sau sunt altfel cuplate într-un aranjament special.

În unele modele de realizare, fiecare dintre elementele 22 de combustibil include un tub umplut cu combustibil nuclear. Tubul poate fi fabricat din zirconiu, aliaj de zirconiu sau alt material convenabil sau o combinație de materiale, fiind în anumite cazuri caracterizat prin absorbție mică de neutroni. Tubul poate să fie umplut cu unul sau mai multe materiale, cum ar fi combustibil nuclear simplu sau în combinație cu alte materiale. Materialul(ele) poate(pot) fi sub formă de pelete, sub formă de pulbere sau sub altă formă convenabilă sau combinații de forme. În alte exemple de realizare, fiecare dintre elementele 22 de combustibil include o tijă formată din unul la mai multe materiale (ex. combustibil nuclear simplu sau în combinație cu alte materiale), cum ar fi combustibil nuclear conținut într-o matrice sau alt material. Și, încă, în alte exemple de realizare, elementele 22 de combustibil pot include o combinație de tuburi sau tije și/sau

alte configurații și elementele 22 de combustibil pot lua alte configurații potrivite unei aplicații speciale.

După cum este arătat în Figurile 1 – 7, elementele 22 de combustibil pot include diverse combinații de combustibili nucleari, cum ar fi dioxid de toriu (ThO_2), uraniu sărăcit (DU), uraniu natural (NU), uraniu reciclat (RU), uraniu ușor îmbogățit (SEU) și uraniu slab îmbogățit (LEU), care vor fi descrise detaliat în continuare. Așa cum este utilizat aici și în revendicările anexate, referirile la „procente” de componente constituente ale materialului inclus într-un fascicul 14 de combustibil, într-un element 22 de combustibil sau alte caracteristici se referă la procente în greutate, dacă nu este specificat altfel. Așa cum este definit aici, DU are un conținut fisionabil de aproximativ 0,2 % în greutate la aproximativ 0,5 % în greutate de ^{235}U (incluzând aproximativ 0,2 % în greutate și aproximativ 0,5 % în greutate), NU are un conținut fisionabil de aproximativ 0,71 % în greutate de ^{235}U , RU are un conținut fisionabil de aproximativ 0,72 % în greutate la aproximativ 1,2 % în greutate de ^{235}U (incluzând aproximativ 0,72 % în greutate și aproximativ 1,2 % în greutate), SEU are un conținut fisionabil de aproximativ 0,9 % în greutate la aproximativ 3 % în greutate de ^{235}U (incluzând aproximativ 0,9 % în greutate și aproximativ 3 % în greutate) și LEU are un conținut fisionabil de aproximativ 3 % în greutate la aproximativ 20 % în greutate de ^{235}U (incluzând aproximativ 3 % în greutate și aproximativ 20 % în greutate).

În modul de realizare din FIG. 1, elementul central 38 include dioxid de toriu și/sau otravă inflamabilă (BP), cum ar fi gadoliniu sau disprosiu. În unele exemple de realizare, se utilizează 0-10% volumetric BP. În alte exemple de realizare se utilizează 0-7% volumetric BP. În alte exemple de realizare se utilizează 0-6% volumetric BP. Și în alte exemple de realizare se utilizează 0-3% volumetric BP. Prima multitudine de elemente 42 include dioxid de toriu. A doua multitudine de elemente 46 include LEU având un prim conținut fisionabil (LEU^1) și fiecare dintre cea de a treia multitudine de elemente 50 include LEU având un al doilea conținut fisionabil (LEU^2) care este diferit de primul conținut fisionabil. Se va înțelege că, conținutul fisionabil al celei de-a doua multitudini de elemente 46 (LEU^1) este ales din intervalul definit mai sus, și conținutul fisionabil al celei de-a treia multitudine de elemente 50 (LEU^2) este, de asemenea, ales din același interval definit dar este diferit de conținutul fisionabil ales pentru a doua multitudine de elemente 46. Spre exemplu, LEU^1 poate avea un conținut fisionabil de aproximativ 4 % în greutate de ^{235}U și LEU^2 poate avea un conținut fisionabil de aproximativ 4,5 % în greutate de ^{235}U . În anumite exemple de realizare din FIG. 1, în

oricare dintre elementele 22 de combustibil ilustrate în FIG. 1 poate fi inclusă o BP. De asemenea, oricare dintre cantitățile de BP abia descrise poate fi inclusă în unul sau toate elementele de combustibil al fiecărui mod de realizare a fasciculului de combustibil descris și/sau ilustrat în prezenta. În alte exemple de realizare, una dintre cele două multitudini exterioare de elemente (adică, fie a doua multitudine de elemente 46 sau a treia multitudine de elemente 50) poate include DU, NU, RU sau SEU în loc de LEU, având un al doilea conținut fisionabil care este diferit de primul conținut fisionabil de LEU în cealaltă dintre cele două multitudini exterioare de elemente. În unele dintre exemplele de realizare, conținutul fisionabil al combustibilului nuclear scade într-o direcție radială către exterior dinspre centrul fasciculului 14 de combustibil. Totuși, în alte exemple de realizare, conținutul fisionabil crește într-o direcție radială către exterior dinspre centrul fasciculului 14 de combustibil.

În modul de realizare al FIG. 2, elementul central 38 include dioxid de toriu și/sau otravă inflamabilă (BP), cum ar fi gadoliniu sau disprosiu. În unele exemple de realizare se utilizează 0-10 % volumetrice de BP. În alte exemple de realizare, se utilizează 0-7 % volumetrice de BP. În alte exemple de realizare, se utilizează 0-6 % volumetrice de BP. Și încă în aște moduri de realizare se utilizează 0-3% volumetrice de BP. Prima multitudine de elemente 42 include dioxid de toriu. A doua multitudine de elemente 46 include un prim conținut fisionabil al unui amestec (în general, desemnat aici prin utilizarea unui slash „/”) de RU și SEU (RU/SEU)¹, care sunt amestecate folosind oricare metodă din stadiul tehnicii, cum ar fi, dar fără a se limita la acestea, utilizarea unei soluții acide sau amestecarea uscată. A treia multitudine de elemente 50 include un al doilea amestec de RU și SEU (RU/SEU)², care are un al doilea conținut fisionabil diferit de primul conținut fisionabil. Trebuie înțeles că, conținutul fisionabil al celei de-a doua multitudini de elemente 46 (RU/SEU)¹ este ales din intervalul cuprins între și incluzând aproximativ 0,72% în greutate la aproximativ 3% în greutate de ²³⁵U. Conținutul fisionabil al celei de-a treia multitudini de elemente 50 (RU/SEU)² este, de asemenea, ales din același interval, dar este diferit de conținutul fisionabil ales din cea de-a doua multitudine de elemente 46. În unele exemple de realizare ale FIG. 2, poate fi inclusă o BP în oricare dintre elementele 22 de combustibil. În unele exemple de realizare, conținutul fisionabil al combustibilului nuclear scade într-o direcție radială către exterior dinspre centrul fasciculului 14 de combustibil. Totuși, în alte exemple de realizare, conținutul fisionabil crește într-o direcție radială către exterior dinspre centrul fasciculului 14 de combustibil. De asemenea, trebuie remarcat că, în general, RU nu

este limitat la a fi amestecat cu SEU. În alte exemple de realizare, RU poate fi amestecat cu LEU sau cu uraniu puternic îmbogățit (HEU) pentru a conduce la un conținut fisionabil mediu la un nivel dorit.

În modul de realizare din FIG. 3, elementul central 38 include dioxid de toriu și prima multitudine de elemente 42 include dioxid de toriu. A doua multitudine de elemente 46 include RU având un prim conținut fisionabil (RU^1), și a treia multitudine de elemente 50 include RU având un al doilea conținut fisionabil (RU^2) diferit de primul conținut fisionabil. Se va înțelege că, conținutul fisionabil al celei de-a doua multitudini de elemente 46 (RU^1) este ales din intervalul definit mai sus, și conținutul fisionabil al celei de-a treia multitudini de elemente 50 (RU^2) este, de asemenea, ales din intervalul definit mai sus, dar este diferit de conținutul fisionabil ales pentru cea de a doua multitudine de elemente 46. În unele exemple de realizare ale FIG. 3, se poate include o BP în oricare dintre elementele 22 de combustibil. În unele exemple de realizare, conținutul fisionabil al combustibilului nuclear scade într-o direcție radială către exterior de la centrul fasciculului 14 de combustibil. În alte exemple de realizare, conținutul fisionabil crește într-o direcție radială către exterior de la centrul fasciculului 14 de combustibil.

În modul de realizare din FIG. 4, elementul central 38 include dioxid de toriu și prima multitudine de elemente 42 include dioxid de toriu. A doua multitudine de elemente 46 include un amestec de RU și DU și/sau include SEU și are un prim conținut fisionabil. Dacă se utilizează amestec de RU și DU, materialele se amestecă folosind o metodă cunoscută în domeniu, cum ar fi, dar fără a se limita la aceasta, utilizarea unei soluții acide sau amestecarea uscată. A treia multitudine de elemente 50 include un amestec de RU și DU și/sau include SEU și are un al doilea conținut fisionabil (RU/DU și/sau SEU)². Se va înțelege că primul conținut fisionabil al celei de a doua multitudini de elemente 46 este ales dintr-un interval cuprins între și incluzând aproximativ 0,2% în greutate la aproximativ 3% în greutate ²³⁵U. Conținutul fisionabil al celei de a treia multitudini de elemente 50 este, de asemenea, ales din același interval dar este diferit conținutul fisionabil ales pentru cea de a doua multitudine de elemente 46. În unele exemple de realizare din FIG. 4, o BP poate fi inclusă în oricare dintre elementele 22 de combustibil. În alte exemple de realizare, cea de a doua multitudine de elemente 46 include fiecare RU, DU sau SEU în intervalul corespunzător de conținut fisionabil și, similar, cea de a treia multitudine de elemente 50 include fiecare RU, DU sau SEU în intervalul corespunzător de conținut fisionabil, primul conținut fisionabil fiind

diferit de cel de al doilea conținut fisionabil. În unele exemple de realizare, conținutul fisionabil al combustibilului nuclear scade într-o direcție radială către exterior dinspre centrul fasciculului 14 de combustibil. În alte exemple de realizare, conținutul fisionabil crește într-o direcție radială către exterior dinspre centrul fasciculului 14 de combustibil.

În modul de realizare din FIG. 5, elementul central 38 include un amestec de dioxid de toriu și BP (ThO_2/BP) sau un amestec de DU și BP (DU/BP). În unele exemple de realizare, se utilizează 0-10% volumetric BP. În alte exemple de realizare, se utilizează 0-7% volumetric BP. În alte exemple de realizare, se utilizează 0-6% volumetric BP. Și în alte exemple de realizare, se utilizează 0-3% volumetric BP. Prima multitudine de elemente 42 include dioxid de toriu. A doua multitudine de elemente 46 include un amestec de RU și DU și/sau include SEU și are un prim conținut fisionabil (RU/DU și/sau SEU)¹. Dacă se utilizează un amestec de RU și DU, materialele se amestecă folosind o metodă cunoscută în domeniu, cum ar fi, dar fără a se limita la aceasta, utilizarea unei soluții acide sau amestecarea uscată. A treia multitudine de elemente 50 include un amestec de RU și DU și/sau include SEU și are un al doilea conținut fisionabil diferit de primul conținut fisionabil (RU/DU și/sau SEU)². Se va înțelege că, conținutul fisionabil al celei de a doua multitudini de elemente 46 (RU/DU și/sau SEU)¹ este ales dintr-un interval cuprins între și incluzând aproximativ 0,2% în greutate la aproximativ 3% în greutate ²³⁵U. Conținutul fisionabil al celei de a treia multitudine de elemente 50 (RU/DU și/sau SEU)² este, de asemenea, ales din același interval dar este diferit de conținutul fisionabil ales pentru cea de a doua multitudine de elemente 46. În unele exemple de realizare din FIG. 5, o BP poate fi inclusă în oricare dintre elementele 22 de combustibil. De asemenea, în unele exemple de realizare, cea de a doua multitudine de elemente 46 include fiecare RU, DU sau SEU în intervalul corespunzător de conținut fisionabil și, similar, cea de a treia multitudine de elemente 50 include fiecare RU, DU sau SEU în intervalul corespunzător de conținut fisionabil, primul conținut fisionabil fiind diferit de cel de al doilea conținut fisionabil. În unele exemple de realizare, conținutul fisionabil al combustibilului nuclear scade într-o direcție radială către exterior dinspre centrul fasciculului 14 de combustibil. În alte exemple de realizare, conținutul fisionabil crește într-o direcție radială către exterior dinspre centrul fasciculului 14 de combustibil.

În modul de realizare din FIG. 6, elementul central 38 include fie un amestec de dioxid de toriu și BP (ThO_2/BP), fie dioxid de toriu. În unele exemple de realizare, se utilizează 0-10% volumetric BP. În alte exemple de realizare, se utilizează 0-7%

volumetrică BP. În alte exemple de realizare, se utilizează 0-6% volumetrică BP. Și în alte moduri de realizare se utilizează 0-3% volumetrică BP. Prima multitudine de elemente 42 include dioxid de toriu. A doua multitudine de elemente 46 include un amestec de RU și DU și/sau include SEU și are un prim conținut fisionabil (RU/DU și/sau SEU)¹. Dacă se utilizează un amestec de RU și DU, materialele se amestecă folosind o metodă cunoscută în domeniu, cum ar fi, dar fără a se limita la aceasta, utilizarea unei soluții acide sau amestecarea uscată. A treia multitudine de elemente 50 include un amestec de RU și DU și/sau include SEU și are un al doilea conținut fisionabil diferit de primul conținut fisionabil (RU/DU și/sau SEU)². Se va înțelege că, conținutul fisionabil a celei de a doua multitudini de elemente 46 (RU/DU și/sau SEU)¹ este ales dintr-un interval cuprins între și incluzând aproximativ 0,2% în greutate la aproximativ 3% în greutate ²³⁵U. Conținutul fisionabil al celei de a treia multitudini de elemente 50 (RU/DU și/sau SEU)² este, de asemenea, ales din același interval dar este diferit de conținutul fisionabil ales pentru cea de a doua multitudine de elemente 46. În unele moduri de realizare din FIG. 6, o BP poate fi inclusă în oricare dintre elementele 22 de combustibil. În alte moduri de realizare, cea de a doua multitudine de elemente 46 include fiecare RU, DU sau SEU în intervalul corespunzător de conținut fisionabil și, similar, cea de a treia multitudine de elemente 50 include fiecare RU, DU sau SEU în intervalul corespunzător de conținut fisionabil, primul conținut fisionabil fiind diferit de cel de al doilea conținut fisionabil. În unele moduri de realizare, conținutul fisionabil al combustibilului nuclear scade într-o direcție radială către exterior dinspre centrul fasciculului 14 de combustibil. În alte moduri de realizare, conținutul fisionabil crește într-o direcție radială către exterior dinspre centrul fasciculului 14 de combustibil.

Modul de realizare din FIG. 7 este substanțial similar modului de realizare din FIG. 6 descris mai sus, cu excepția faptului că fasciculul 14 de combustibil este un fascicul de combustibil cu 37 de elemente având elementele 22 de combustibil uniform dimensionate, așa cum s-a descris mai sus. Distribuția combustibilului nuclear în multitudinea de elemente centrală 38, prima multitudine de elemente 42, a doua multitudine de elemente 46 și, respectiv, a treia multitudine de elemente 50 este similară celei din FIG. 6 și, de aceea, este descrisă mai sus. Modul de realizare din FIG. 7 prezintă un exemplu al modului în care un număr special de elemente de combustibil, aranjarea elementului de combustibil (ex. inele de elemente în modurile de realizare ilustrate), dimensiunile elementului de combustibil și dimensiunile relative ale elementului de combustibil se pot schimba în timp ce pot, însă, să întruchipeze

prezenta invenție. În unele moduri de realizare, conținutul fisionabil al combustibilului nuclear scade într-o direcție radială către exterior dinspre centrul fasciculului 14 de combustibil. În alte moduri de realizare, conținutul fisionabil crește într-o direcție radială către exterior dinspre centrul fasciculului 14 de combustibil.

Alternativ, oricare dintre modurile de realizare din Figurile 4 – 7 poate include un singur conținut fisionabil de uraniu îmbogățit în fiecare dintre cele două multitudini exterioare de elemente (adică, atât în cea de a doua multitudine de elemente 46, cât și în cea de a treia multitudine de elemente 50). În unele moduri de realizare, singurul conținut fisionabil este ales dintr-un interval mai mare decât 1,8% în greutate. Ca alt exemplu, singurul conținut fisionabil este ales dintr-un interval care este mai mic decât 1,7% în greutate.

În alte moduri de realizare, se poate utiliza orice combinație de RU, DU, LEU, NU și SEU (combustibil purtător) în două locații diferite ale fasciculului 14 de combustibil în combinație cu dioxid de toriu și/sau BP în alte locații ale fasciculului 14 de combustibil, astfel încât conținutul fisionabil al unui prim element al combustibilului purtător este diferit de conținutul fisionabil al unui al doilea element al combustibilului purtător. Combustibilul purtător asigură neutronii necesari pentru a transforma $^{232}\text{Toriu}$, care nu este fisionabil, în $^{233}\text{Uraniu}$, care este fisionabil, astfel încât dioxidul de toriu arde efectiv într-un reactor nuclear. Se utilizează BP pentru a mări parametri de siguranță, cel mai important coeficientul de vid al reactivității agentului de răcire (CVR) și coeficientul de temperatură a combustibilului (FTC). Așa cum s-a notat mai sus, se poate include o BP în oricare dintre elementele sau locațiile din fasciculul 14 de combustibil sau poate fi inclusă singură într-un element sau într-o locație (adică, fără să fie amestecată cu combustibil într-un element de combustibil sau să fie inclusă altfel cu combustibilul într-o locație a elementului de combustibil). De asemenea, în unele moduri de realizare, conținutul fisionabil al combustibilului nuclear scade într-o direcție radială către exterior dinspre centrul fasciculului 14 de combustibil, în timp ce în alte moduri de realizare, conținutul fisionabil crește într-o direcție radială către exterior dinspre centrul fasciculului 14 de combustibil.

Modurile de realizare și realizările descrise aici se pot, de asemenea, utiliza cu tuburi de presiune mai mari sau mai mici decât cele utilizate în prezent în reactoarele cu tuburi sub presiune și se pot, de asemenea, utiliza în viitoarele reactoare cu tuburi cu apă grea sub presiune. Fasciculele 14 de combustibil ale prezentei invenții se pot, de

asemenea, aplica reactoarelor cu tuburi sub presiune cu diferite combinații de lichide/gaze în sistemele lor moderatoare și de transport de căldură. Prezenta invenție se poate, de asemenea, utiliza, în fasciculele de combustibil având un număr diferit și aranjare diferită a elementelor și nu este limitată la modele de fascicul de combustibil cu 43 și cu 37 de elemente, așa cum sunt ilustrate, doar pentru exemplificare, cele din Figurile 1-7.

Fasciculele de combustibil care utilizează compoziții de toriu și de izotopi de uraniu (eterogene sau omogene) pot permite un control mai precis al coeficientului de putere, puterii fasciculului, puterii canalelor, nivelurilor debitului, formelor debitului central, fluxului termic critic și coeficientul de vid al reactivității miezului ale unui reactor nuclear, astfel încât cerințele de siguranță pot fi atinse cu ușurință în timp ce se mărește semnificativ utilizarea resurselor.

Oricare dintre combustibilii descriși aici poate fi furnizat în purtători de tip matrice inerti și/sau poate fi utilizat într-un mod în care se mărește consumul de combustibil și se evită limitele proprietăților mecanice ale combustibilului de bază, astfel crescându-se în continuare utilizarea resursei de combustibil. Astfel de aditivi/purtători vor permite, de asemenea, un control mai precis al, spre exemplu, eliberării gazoase fisionabile asociate cu criteriile de modelare și coeficienții de transfer de căldură.

În plus, în reactoarele răcite cu apă grea, viteza de multiplicare a neutronilor crește când apar goluri în agentul de răcire. Goluri în agentul de răcire apar, spre exemplu, când agentul de răcire începe să fiarbă. Coeficientul de vid al reactivității agentului de răcire este o măsură a abilității unui reactor de a multiplica neutronii. Acest fenomen este datorat coeficientului de vid pozitiv al reactivității agentului de răcire și reprezintă o apariție nedorită. Prezenta invenție poate asigura o reducere semnificativă a coeficientului de vid al reactivității agentului de răcire și poate, de asemenea, asigura un coeficient de temperatură negativ al combustibilului și/sau un coeficient negativ de putere.

Modurile de realizare descrise mai sus și ilustrate în figuri sunt prezentate doar în scopul exemplificării și nu sunt prevăzute ca o limitare a conceptelor și principiilor prezentei invenții. Astfel, se va aprecia de un specialist în domeniu că diferite schimbări ale elementelor și ale configurațiilor acestora sunt posibile fără a se îndepărta de la spiritul și scopul prezentei invenții. Spre exemplu, în diferite moduri de realizare descrise și/sau ilustrate în prezenta, se amestecă LEU și SEU cu diferite tipuri de

combustibil nuclear pentru a produce combustibili nucleari având conținutul fisionabil dorit. Ar trebui notat că, în alte moduri de realizare, se poate amesteca uraniul înalt îmbogățit (HEU) și/sau LEU cu diferite tipuri de combustibil descrise aici pentru a produce combustibili nucleari având același conținut fisionabil. Astfel de amestecuri de combustibil nuclear HEU și LEU se aplică tuturor modurilor de realizare ale prezentei invenții.

REVEDICĂRI

1. Fascicul de combustibil pentru un reactor nuclear cuprinzând:
un prim element de combustibil incluzând dioxid de toriu;
un al doilea element de combustibil incluzând uraniu având un prim conținut fisionabil; și
un al treilea element de combustibil incluzând uraniu având un al doilea conținut fisionabil diferit de primul conținut fisionabil.
2. Fascicul de combustibil conform revendicării 1, în care uraniul având primul conținut fisionabil include uraniu reciclat având un conținut fisionabil de aproximativ 0,72% în greutate de ^{235}U la aproximativ 1,2% în greutate de ^{235}U .
3. Fascicul de combustibil conform revendicării 2, în care uraniul având cel de al doilea conținut fisionabil include uraniu reciclat având un conținut fisionabil de aproximativ 0,72% în greutate de ^{235}U la aproximativ 1,2% în greutate de ^{235}U .
4. Fascicul de combustibil conform revendicării 2, în care uraniul având cel de al doilea conținut fisionabil include uraniu ușor îmbogățit având un conținut fisionabil de aproximativ 0,9% în greutate de ^{235}U la aproximativ 3% în greutate de ^{235}U .
5. Fascicul de combustibil conform revendicării 2, în care uraniul având cel de al doilea conținut fisionabil include uraniu natural având un conținut fisionabil de aproximativ 0,71% în greutate de ^{235}U .
6. Fascicul de combustibil conform revendicării 2, în care uraniul având cel de al doilea conținut fisionabil include uraniu slab îmbogățit având un conținut fisionabil de aproximativ 3% în greutate de ^{235}U la aproximativ 20% în greutate de ^{235}U .
7. Fascicul de combustibil conform revendicării 1, în care uraniul având primul conținut fisionabil include uraniu ușor îmbogățit având un conținut fisionabil de aproximativ 0,9% în greutate de ^{235}U la aproximativ 3% în greutate de ^{235}U .

8. Fascicul de combustibil conform revendicării 7, în care uraniul având cel de al doilea conținut fisionabil include uraniu ușor îmbogățit având un conținut fisionabil de aproximativ 0,9% în greutate de ^{235}U la aproximativ 3% în greutate ^{235}U .

9. Fascicul de combustibil conform revendicării 7, în care uraniul având cel de al doilea conținut fisionabil include uraniu natural având un conținut fisionabil de aproximativ 0,71% în greutate de ^{235}U .

10. Fascicul de combustibil conform revendicării 7, în care uraniul având cel de al doilea conținut fisionabil include uraniu slab îmbogățit având un conținut fisionabil de aproximativ 3% în greutate ^{235}U la aproximativ 20% în greutate ^{235}U .

11. Fascicul de combustibil conform revendicării 1, în care uraniul având primul conținut fisionabil include uraniu natural având un conținut fisionabil de aproximativ 0,71% în greutate ^{235}U .

12. Fascicul de combustibil conform revendicării 11, în care uraniul având cel de al doilea conținut fisionabil include uraniu slab îmbogățit având un conținut fisionabil de aproximativ 3% în greutate ^{235}U la aproximativ 20% în greutate ^{235}U .

13. Fascicul de combustibil conform revendicării 1, în care uraniul având primul conținut fisionabil include uraniu slab îmbogățit având un conținut fisionabil de aproximativ 3% în greutate ^{235}U la aproximativ 20% în greutate ^{235}U .

14. Fascicul de combustibil conform revendicării 13, în care uraniul având cel de al doilea conținut fisionabil include uraniu slab îmbogățit având un conținut fisionabil de aproximativ 3% în greutate ^{235}U la aproximativ 20% în greutate ^{235}U .

15. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 2-14, în care uraniul inclus în cel puțin unul dintre cel de al doilea element de combustibil și cel de al treilea element de combustibil conține cel puțin unul dintre uraniu reciclat având un conținut fisionabil de aproximativ 0,72% în greutate ^{235}U la aproximativ 1,2% în greutate ^{235}U , uraniu sărăcit având un conținut fisionabil de aproximativ 0,2% în greutate ^{235}U la aproximativ 0,5% în greutate ^{235}U , uraniu ușor îmbogățit având un conținut fisionabil de aproximativ 9% în greutate ^{235}U la aproximativ 3% în greutate ^{235}U , uraniu natural având

un conținut fisionabil de aproximativ 0,71% în greutate ^{235}U și uraniu slab îmbogățit având un conținut fisionabil de aproximativ 3% în greutate ^{235}U la aproximativ 20% în greutate ^{235}U .

16. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 2-14, în care uraniul inclus în cel puțin unul dintre cel de al doilea element de combustibil și cel de al treilea element de combustibil conține o otravă inflamabilă.

17. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 2-14, în care dioxidul de toriu inclus în primul element de combustibil conține o otravă inflamabilă.

18. Fascicul de combustibil conform revendicării 1, în care primul element de combustibil include o tijă de dioxid de toriu.

19. Fascicul de combustibil conform revendicării 1, în care cel de al doilea element de combustibil include o tijă de uraniu având primul conținut fisionabil.

20. Fascicul de combustibil conform revendicării 1, în care cel de al treilea element de combustibil include o tijă de uraniu având cel de al doilea conținut fisionabil.

21. Fascicul de combustibil conform revendicării 1, în care primul element de combustibil include un tub conținând dioxid de toriu.

22. Fascicul de combustibil conform revendicării 1, care cel de al doilea element de combustibil include un tub conținând uraniu având primul conținut fisionabil.

23. Fascicul de combustibil conform revendicării 1, în care cel de al treilea element de combustibil include un tub conținând uraniu având cel de al doilea conținut fisionabil

24. Fascicul de combustibil conform revendicării 1, în care primul element de combustibil include o primă multitudine de tuburi conținând dioxid de toriu.

25. Fascicul de combustibil conform revendicării 24, în care prima multitudine de tuburi include șapte tuburi paralele conținând dioxid de toriu.

26. Fascicul de combustibil conform revendicării 24, în care prima multitudine de tuburi include opt tuburi paralele conținând dioxid de toriu.

27. Fascicul de combustibil conform revendicării 24, în care cel de al doilea element de combustibil include o a doua multitudine de tuburi conținând uraniul având primul conținut fisionabil și fiind poziționat radial către exterior dinspre prima multitudine de tuburi conținând dioxid de toriu.

28. Fascicul de combustibil conform revendicării 27, în care cea de a doua multitudine de tuburi include doisprezece tuburi paralele conținând uraniu având primul conținut fisionabil.

29. Fascicul de combustibil conform revendicării 27, în care cea de a doua multitudine de tuburi include paisprezece tuburi paralele conținând uraniu având primul conținut fisionabil.

30. Fascicul de combustibil conform revendicării 27, în care cel puțin una dintre cea de a doua multitudine de tuburi are dimensiunea în secțiune transversală diferită față de aceea a cel puțin uneia dintre prima multitudine de tuburi.

31. Fascicul de combustibil conform revendicării 27, în care cel de al treilea element de combustibil include o a trei multitudine de tuburi conținând uraniul având cel de al doilea conținut fisionabil și fiind poziționat radial către exterior dinspre a doua multitudine de tuburi conținând uraniu având primul conținut fisionabil.

32. Fascicul de combustibil conform revendicării 31, în care cea de a treia multitudine de tuburi include optsprezece tuburi paralele conținând uraniu având al doilea conținut fisionabil.

33. Fascicul de combustibil conform revendicării 31, în care cea de a treia multitudine de tuburi include douăzeci și unu de tuburi paralele conținând uraniu având al doilea conținut fisionabil.

34. Fascicul de combustibil conform revendicării 31, în care cel puțin una dintre cea de a treia multitudine de tuburi are dimensiunea în secțiune transversală diferită față de aceea a cel puțin uneia dintre prima multitudine de tuburi.

35. Fascicul de combustibil conform revendicării 31, în care cel puțin una dintre cea de a treia multitudine de tuburi are dimensiunea în secțiune transversală diferită față de aceea a cel puțin uneia dintre cea de a doua multitudine de tuburi.

36. Fascicul de combustibil conform revendicării 31, în care uraniul având primul conținut fisionabil include uraniu reciclat având un conținut fisionabil de aproximativ 0,72% în greutate ^{235}U la aproximativ 1,2% în greutate ^{235}U .

37. Fascicul de combustibil conform revendicării 36, în care uraniul având al doilea conținut fisionabil include uraniu reciclat având un conținut fisionabil de aproximativ 0,72% în greutate ^{235}U la aproximativ 1,2% în greutate ^{235}U .

38. Fascicul de combustibil conform revendicării 36, în care uraniul având al doilea conținut fisionabil include uraniu ușor îmbogățit având un conținut fisionabil de aproximativ 0,9% în greutate ^{235}U la aproximativ 3% în greutate ^{235}U .

39. Fascicul de combustibil conform revendicării 36, în care uraniul având al doilea conținut fisionabil include uraniu natural având un conținut fisionabil de aproximativ 0,71% în greutate ^{235}U .

40. Fascicul de combustibil conform revendicării 36, în care uraniul având al doilea conținut fisionabil include uraniu slab îmbogățit având un conținut fisionabil de aproximativ 3% în greutate ^{235}U la aproximativ 20% în greutate ^{235}U .

41. Fascicul de combustibil conform revendicării 31, în care uraniul având primul conținut fisionabil include uraniu ușor îmbogățit având un conținut fisionabil de aproximativ 0,9% în greutate ^{235}U la aproximativ 3% în greutate ^{235}U .

42. Fascicul de combustibil conform revendicării 41, în care uraniul având al doilea conținut fisionabil include uraniu reciclat având un conținut fisionabil de aproximativ 0,72% în greutate ^{235}U la aproximativ 1,2% în greutate ^{235}U .

43. Fascicul de combustibil conform revendicării 41, în care uraniul având al doilea conținut fisionabil include uraniu ușor îmbogățit având un conținut fisionabil de aproximativ 0,9% în greutate ^{235}U la aproximativ 3% în greutate ^{235}U .

44. Fascicul de combustibil conform revendicării 41, în care uraniul având al doilea conținut fisionabil include uraniu natural având un conținut fisionabil de aproximativ 0,71% în greutate ^{235}U .

45. Fascicul de combustibil conform revendicării 41, în care uraniul având al doilea conținut fisionabil include uraniu slab îmbogățit având un conținut fisionabil de aproximativ 3% în greutate ^{235}U la aproximativ 20% în greutate ^{235}U .

46. Fascicul de combustibil conform revendicării 31, în care uraniul având primul conținut fisionabil include uraniu natural având un conținut fisionabil de aproximativ 0,71% în greutate ^{235}U .

47. Fascicul de combustibil conform revendicării 46, în care uraniul având al doilea conținut fisionabil include uraniu reciclat având un conținut fisionabil de aproximativ 0,72% în greutate ^{235}U la aproximativ 1,2% în greutate ^{235}U .

48. Fascicul de combustibil conform revendicării 46, în care uraniul având al doilea conținut fisionabil include uraniu ușor îmbogățit având un conținut fisionabil de aproximativ 0,9% în greutate ^{235}U la aproximativ 3% în greutate ^{235}U .

49. Fascicul de combustibil conform revendicării 46, în care uraniul având al doilea conținut fisionabil include uraniu slab îmbogățit având un conținut fisionabil de aproximativ 3% în greutate ^{235}U la aproximativ 20% în greutate ^{235}U .

50. Fascicul de combustibil conform revendicării 31, în care uraniul având primul conținut fisionabil include uraniu slab îmbogățit având un conținut fisionabil de aproximativ 3% în greutate ^{235}U la aproximativ 20% în greutate ^{235}U .

51. Fascicul de combustibil conform revendicării 50, în care uraniul având al doilea conținut fisionabil include uraniu reciclat având un conținut fisionabil de aproximativ 0,72% în greutate ^{235}U la aproximativ 1,2% în greutate ^{235}U .

52. Fascicul de combustibil conform revendicării 50, în care uraniul având al doilea conținut fisionabil include uraniu ușor îmbogățit având un conținut fisionabil de aproximativ 0,9% în greutate ^{235}U la aproximativ 3% în greutate ^{235}U .

53. Fascicul de combustibil conform revendicării 50, în care uraniul având al doilea conținut fisionabil include uraniu natural având un conținut fisionabil de aproximativ 0,71% în greutate ^{235}U .

54. Fascicul de combustibil conform revendicării 50, în care uraniul având al doilea conținut fisionabil include uraniu slab îmbogățit având un conținut fisionabil de aproximativ 3% în greutate ^{235}U la aproximativ 20% în greutate ^{235}U .

55. Fascicul de combustibil conform revendicării 31, în care uraniul având primul conținut fisionabil include uraniu slab îmbogățit având un conținut fisionabil de aproximativ 1,25% în greutate ^{235}U .

56. Fascicul de combustibil conform revendicării 55, în care uraniul având al doilea conținut fisionabil include uraniu slab îmbogățit având un conținut fisionabil de aproximativ 1,70% în greutate ^{235}U .

57. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 32-56, în care uraniul inclus în cel puțin una din cea de a doua multitudine de tuburi și cea de a treia multitudine de tuburi conține cel puțin unul dintre uraniu reciclat având un conținut fisionabil de aproximativ 0,72% în greutate ^{235}U la aproximativ 1,2% în greutate ^{235}U , uraniu sărăcit având un conținut fisionabil de aproximativ 0,2% în greutate ^{235}U la aproximativ 0,5% în greutate ^{235}U , uraniu ușor îmbogățit având un conținut fisionabil de aproximativ 0,9% în greutate ^{235}U la aproximativ 3% în greutate ^{235}U , uraniu natural având un conținut fisionabil de aproximativ 0,71% ^{235}U și uraniu slab îmbogățit având un conținut fisionabil de aproximativ 3% în greutate ^{235}U la aproximativ 20% în greutate ^{235}U .

58. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 32-56, în care uraniul inclus în cel puțin una dintre cea de a doua multitudine de tuburi și cea de a treia multitudine de tuburi conține o otravă inflamabilă.

59. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 32-56, în care dioxidul de toriu inclus în prima multitudine de tuburi conține o otravă inflamabilă.

60. Fascicul de combustibil conform revendicării 31, care mai cuprinde un al patrulea element de combustibil.

61. Fascicul de combustibil conform revendicării 60, în care cel de al patrulea element de combustibil include cel puțin un tub.

62. Fascicul de combustibil conform revendicării 61, în care prima multitudine de tuburi este poziționată radial către exterior dinspre cel puțin un tub al celui de al patrulea element de combustibil.

63. Fascicul de combustibil conform revendicării 62, în care cel puțin un tub include dioxid de toriu.

64. Fascicul de combustibil conform revendicării 62, în care cel puțin un tub include o otravă inflamabilă.

65. Fascicul de combustibil conform revendicării 62, în care cel puțin un tub include uraniu având un al treilea conținut fisionabil.

66. Fascicul de combustibil conform revendicării 65, în care cel de al treilea conținut fisionabil este diferit de cel puțin unul dintre primul conținut fisionabil și al doilea conținut fisionabil.

67. Fascicul de combustibil conform revendicării 65, în care uraniu având cel de al treilea conținut fisionabil include uraniu reciclat având un conținut fisionabil de aproximativ 0,72% în greutate ^{235}U la aproximativ 1,2% ^{235}U .

68. Fascicul de combustibil conform revendicării 63, în care uraniu având cel de al treilea conținut fisionabil include uraniu ușor îmbogățit având un conținut fisionabil de aproximativ 0,9% în greutate ^{235}U la aproximativ 3% în greutate ^{235}U .

69. Fascicul de combustibil conform revendicării 63, în care uraniu având cel de al treilea conținut fisionabil include uraniu natural având un conținut fisionabil de aproximativ 0,71% în greutate ^{235}U .

70. Fascicul de combustibil conform revendicării 63, în care uraniu având cel de al treilea conținut fisionabil include uraniu slab îmbogățit având un conținut fisionabil de aproximativ 3% în greutate ^{235}U la aproximativ 20% în greutate ^{235}U .

71. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 61-70, în care cel de al patrulea element de combustibil inclus în cel puțin un tub este conține cel puțin uraniu reciclat având un conținut fisionabil de aproximativ 0,72% în greutate ^{235}U la aproximativ 1,2% în greutate ^{235}U , uraniu sărăcit având un conținut fisionabil de aproximativ 0,2% în greutate ^{235}U la aproximativ 0,5% în greutate ^{235}U , uraniu ușor îmbogățit având un conținut fisionabil de aproximativ 0,9% în greutate ^{235}U la aproximativ 3% în greutate ^{235}U , uraniu natural având un conținut fisionabil de aproximativ 0,71% ^{235}U , uraniu slab îmbogățit având un conținut fisionabil de aproximativ 3% în greutate ^{235}U la aproximativ 20% în greutate ^{235}U și o otrăvă inflamabilă.

72. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 1-71, în care al doilea conținut fisionabil este mai mare decât primul conținut fisionabil.

73. Reactor nuclear cuprinzând:
un tub cu fluid sub presiune; și
fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 1-72.

1/8

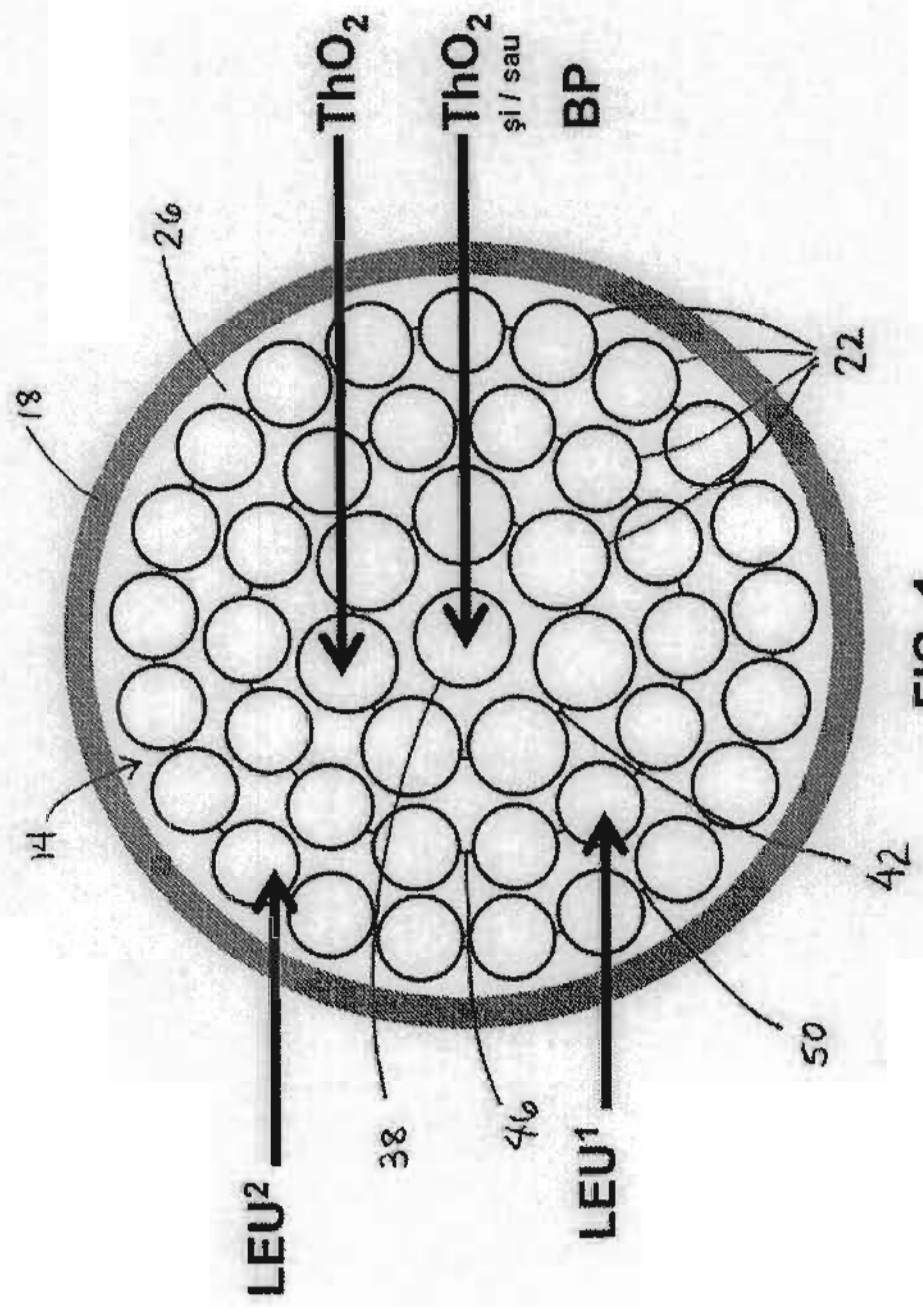


FIG. 1

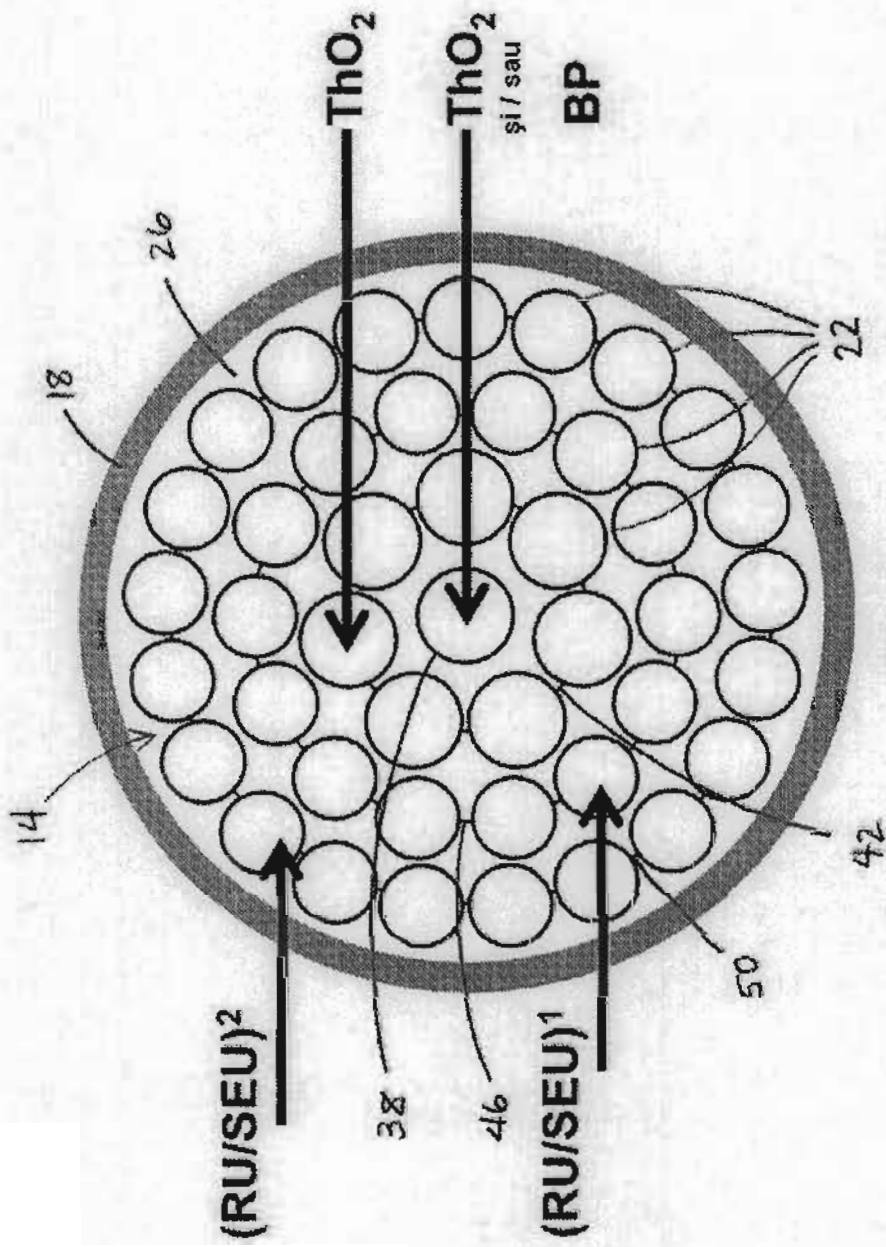


FIG. 2

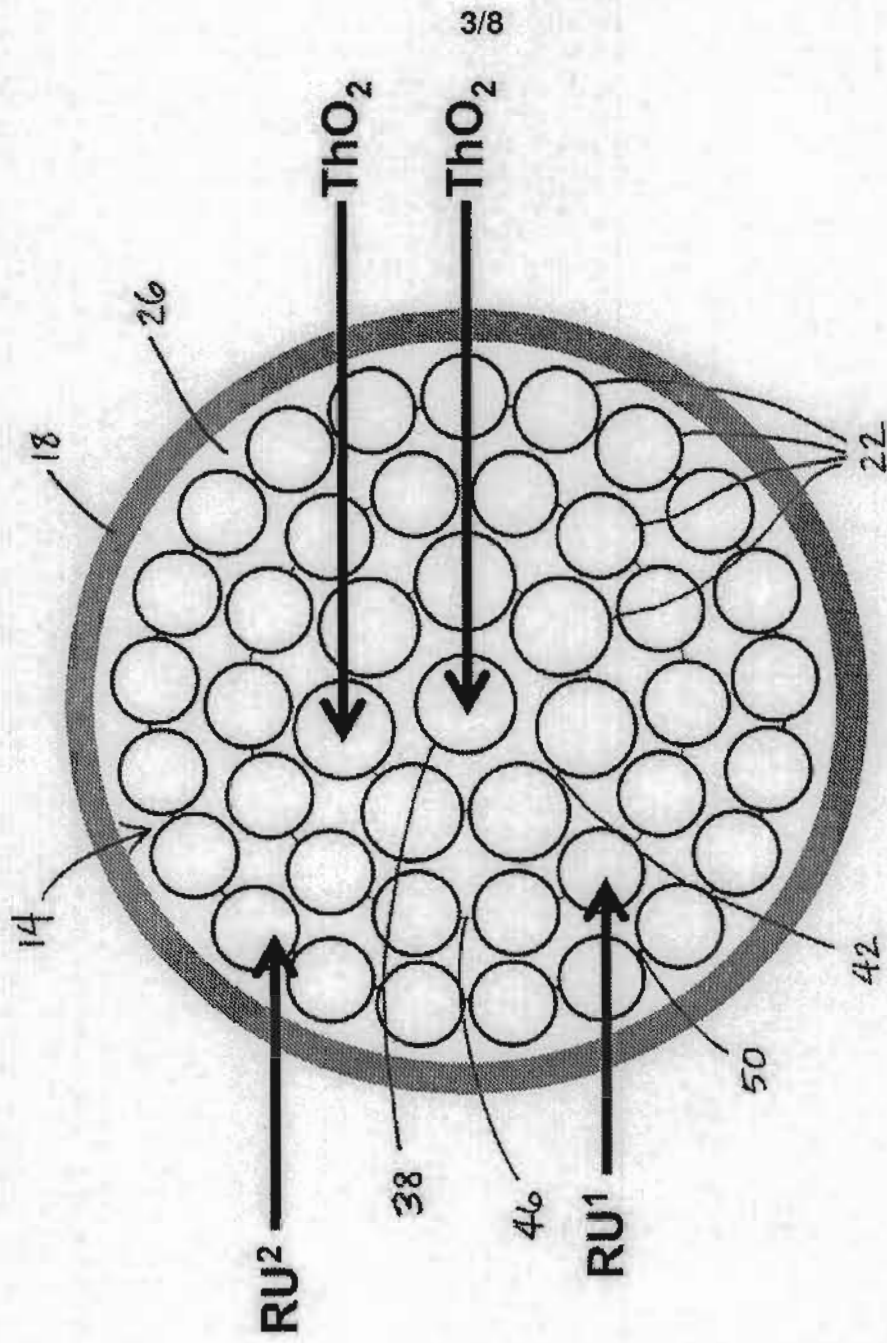


FIG. 3

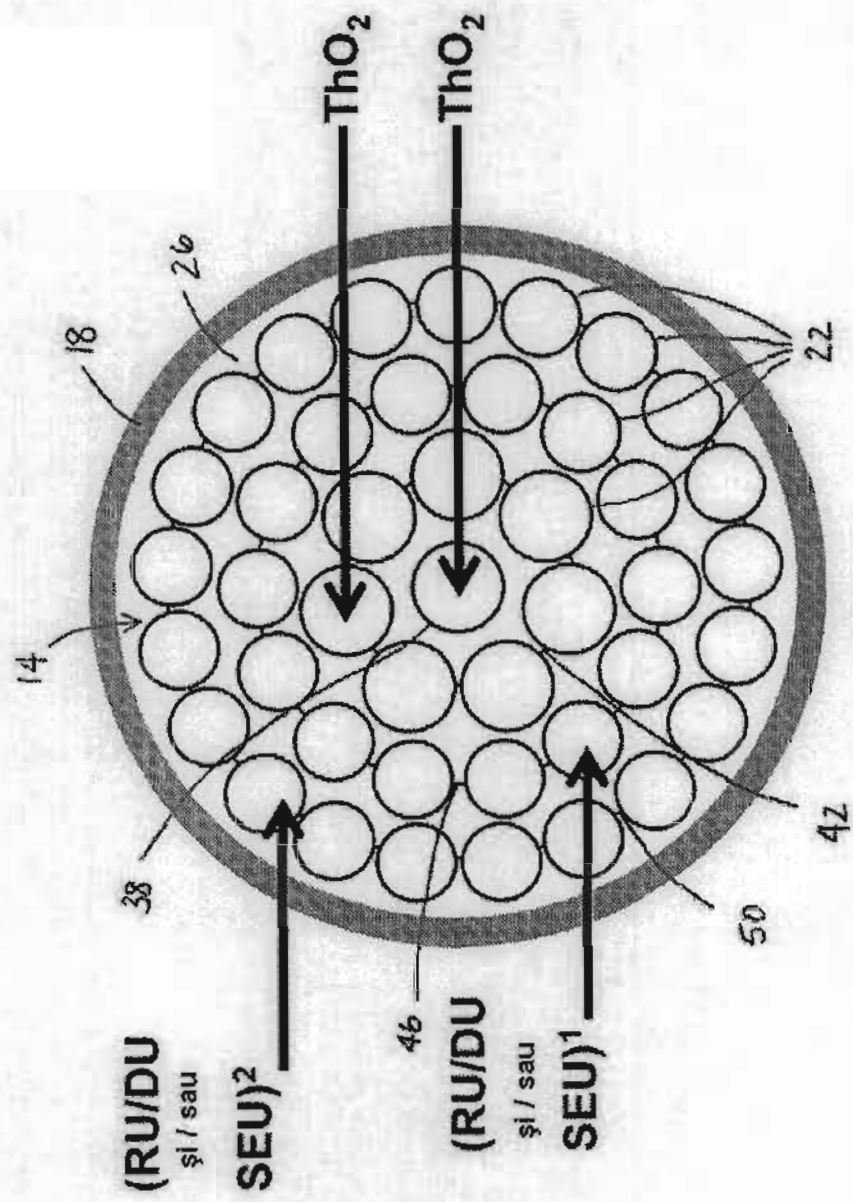


FIG. 4

5/8

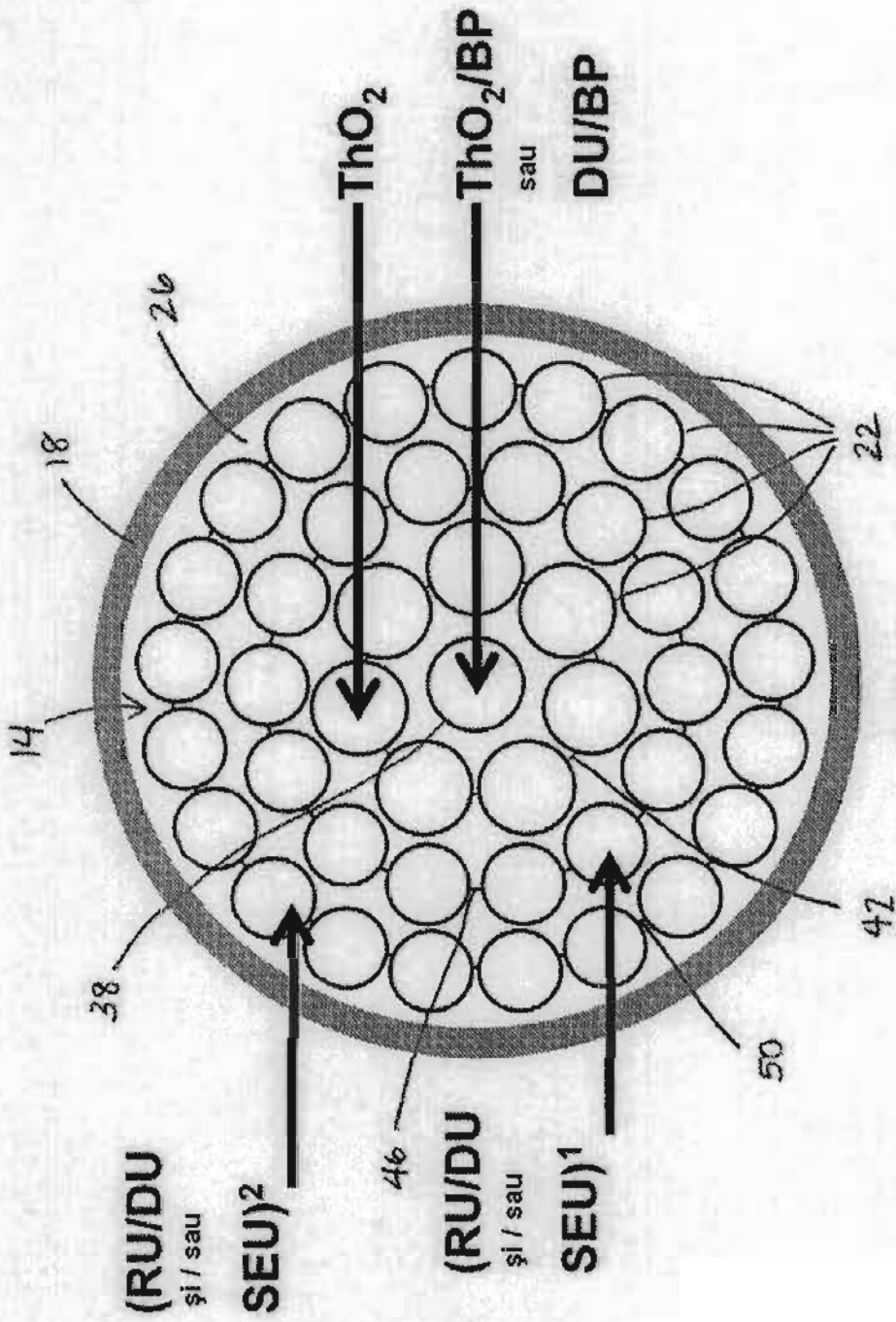


FIG. 5

8

6/8

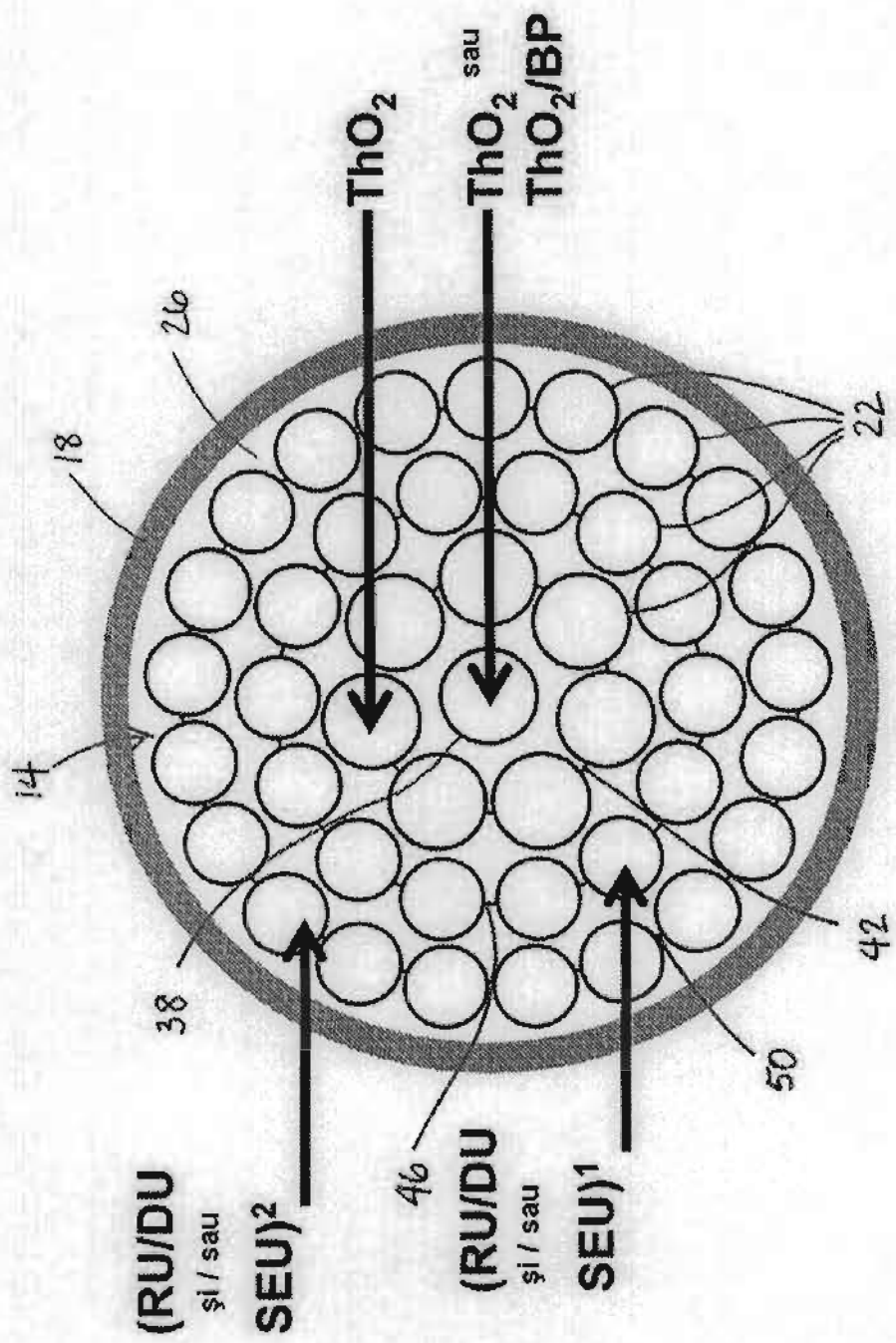


FIG. 6

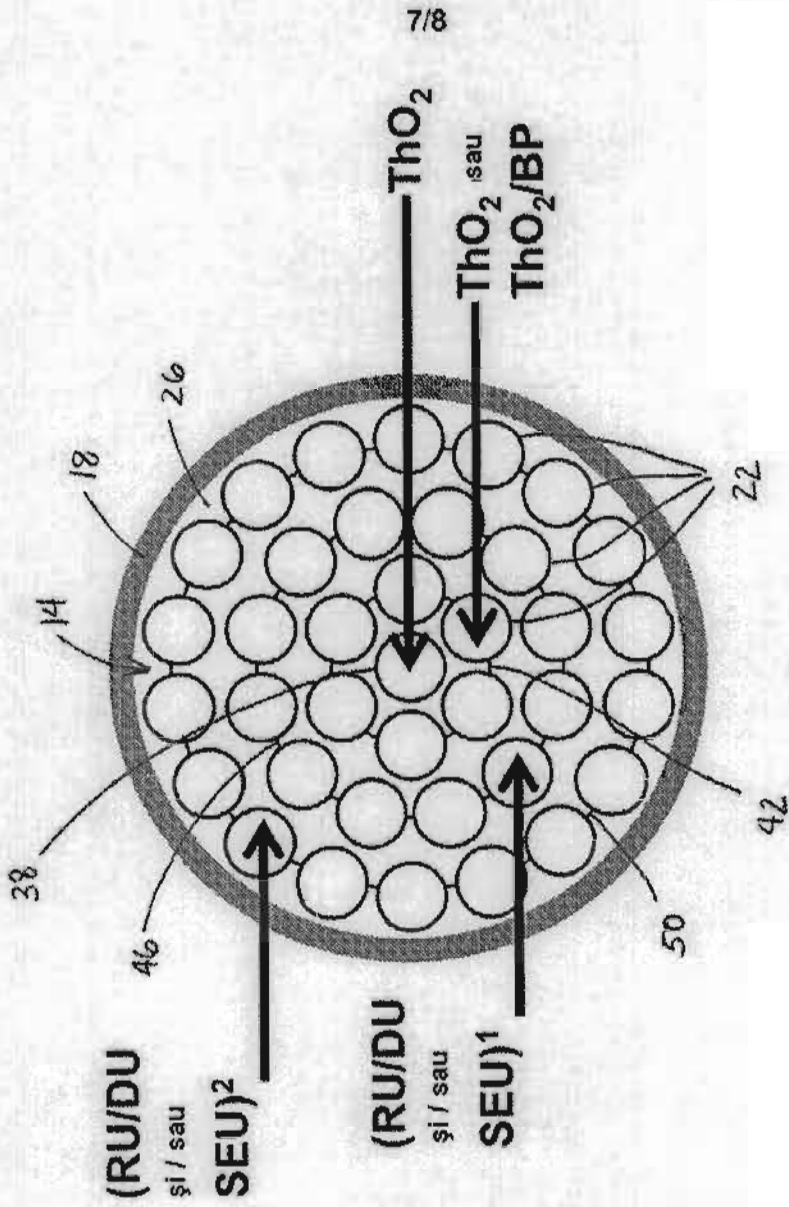


FIG. 7

8/8

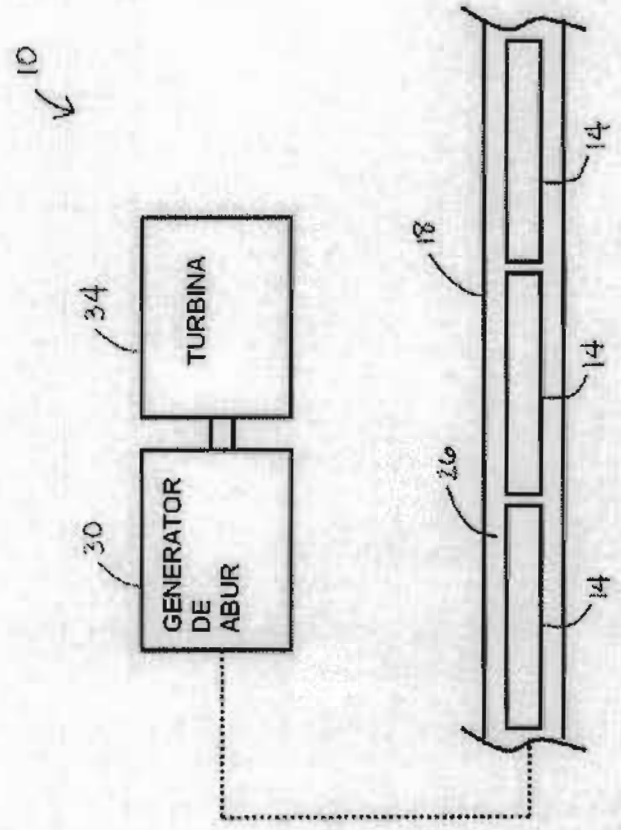


FIG. 8