

CTROOIRAAD



NEDERLAND

Ter inzage gelegde

Octrooiaanvraag Nr. 7 3 0 6 7 8 9

Int. Cl. G 21 c 3/00.

Indieningsdatum: 15 mei 1973,  
24 uur.

Datum van terinzagelegging: 19 november 1973.

De hierna volgende tekst is een afdruk van de beschrijving met conclusie(s) en tekening(en), zoals deze op bovengenoemde datum werd ingediend.

---

Aanvraagster: General Electric Company, New York, New York,  
Verenigde Staten van Amerika

Gemachtigde: Octrooibureau Polak & Charlouis te 's-Gravenhage  
(Ir. G.H. Boelsma c.s.)

Ingeroepen recht van voorrang: 15 mei 1972,  
Verenigde Staten van Amerika,  
nr. 253,299

Korte aanduiding: Kernbrandstofelement en werkwijze voor het  
vervaardigen ervan

De uitvinding heeft in ruime zin betrekking op een verbetering van kernbrandstofelementen voor gebruik in de kern van kernsplijtingsreactoren, en meer in het bijzonder op verbeterde kernbrandstofelementen, waarin een toeslag is aangebracht van een barium bevattend materiaal, aangebracht in de open ruimte van het brandstof element en in staat om gassen op te vangen door chemische reactie of adsorptie.

Kernreactoren worden tegenwoordig ontworpen, geconstrueerd en in bedrijf genomen, waarbij de kernbrandstof aanwezig is in brandstofelementen, welke diverse geometrische vormen kunnen hebben, zoals platen, buizen, of stangen. Het

7306789

brandstofmateriaal wordt gewoonlijk opgesloten in een corrosie bestendige, niet-reactieve, warmtegeleidende houder of bekleding. De elementen worden samengesteld in een rooster op vaste afstanden van elkaar in een stroomkanaal voor koelmiddel of gebied, dat een brandstofsamenstel vormt, en voldoende brandstofsamenstellen worden gecombineerd ter vorming van het kernsplijtingskettingreactiesamenstel of reactorkern in staat voor een zelf onderhoudende splijtingsreactie. De kern wordt op zijn beurt opgesloten binnen een reactorvat, waardoor men een koelmiddel laat stromen.

De bekleding bezit twee hoofdtaken:

- 1e. om contact en chemische reacties te voorkomen tussen de kernbrandstof en hetzij het koelmiddel of de moderator indien aanwezig, of beide; en
  - 2e. om te voorkomen, dat radiaactieve splijtingsprodukten, waarvan sommige gassen zijn, vrijkomen uit de brandstof in het koelmiddel, of moderator indien aanwezig, of beide.
- De gebruikelijke bekledingsmaterialen zijn legeringen van roestvrijstaal, aluminium en zijn legeringen, zirconium en zijn legeringen. Het falen van de bekleding, als gevolg van de opbouw van gasdruk of om andere redenen, kan het koelmiddel of moderator en de bijbehorende stelsels vervuilen met radioactieve produkten met een lange levensduur in een mate, welke de werking van het bedrijf zal schaden.

Problemen hebben zich voorgedaan bij de vervaardiging en het in bedrijf nemen van kernbrandstofelementen, welke bepaalde metalen en legeringen als bekledingsmateriaal toepassen, als gevolg van de reactiviteit van deze materialen onder bepaalde omstandigheden. Zirconium en zijn legeringen zijn onder normale omstandigheden uitstekende materialen voor een kernbrandstofbekleding, aangezien zij doorsneden met een lage neutronenabsorptie bezitten en bij temperaturen beneden ongeveer 315°C uitzonderlijk stabiel zijn en niet-reagerend in aanwezigheid van gedemineraliseerd water of stoom, welke gewoonlijk worden gebruikt als reactorkoelmiddelen en moderators. Binnen de

begrenzungen van een afgedichte brandstofstaaf kan echter het door de langzame reactie tussen de bekleding en residu-water opgewekte waterstofgas aangroeien tot niveaus, welke onder bepaalde omstandigheden kunnen resulteren in een plaatselijke waterstofbroswording van de legering met daarmee gepaard gaande een verslechtering van de mechanische eigenschappen van de bekleding. De bekleding wordt eveneens nadelig beïnvloed door gassen zoals zuurstof, stikstof, koolmonoxide en kooldioxide bij de werktemperaturen van de reactor.

De zirconiumbekleding van een kernbrandstofelement wordt blootgesteld aan één of meer van de bovengenoemde gassen tijdens bestraling in een kernreactor ondanks het feit, dat deze gassen niet aanwezig mogen zijn in het reactorkoelmiddel of moderator, en voorts zoveel mogelijk verwijderd kunnen zijn uit de omgevingsatmosfeer tijdens de vervaardiging van de bekleding en het brandstofelement. Gesinterde vuurvaste en keramische samenstellingen, zoals uraniumdioxide en andere, welke als kernbrandstof worden gebruikt, maken meetbare hoeveelheden vrij van de voorgenoemde gassen bij verhitting, zoals tijdens de vervaardiging van het brandstofelement en in het bijzonder tijdens bestraling. Van korrelvormig vuurvaste en keramische samenstellingen, zoals uraniumdioxidepoeder en andere poeders gebruikt als kernbrandstof, is het bekend, dat zij zelfs grotere hoeveelheden van de hiervoor genoemde gassen tijdens bestraling vrijmaken. Deze gassen reageren met zirconium bekleed materiaal, dat de kernbrandstof bevat. Deze reactie kan resulteren in de broswording van de bekleding, welke gevaren oplevert voor de samenhang of integriteit van het brandstofelement. Ofschoon water en waterdamp niet rechtstreeks behoeven te reageren om dit resultaat te verwekken, reageert water bij hoge temperaturen wel met zirconium en zirconiumlegeringen, waarbij waterstof wordt opgewekt en dit gas reageert plaatselijk verder met het zirconium en de zirconiumlegeringen, waardoor broswording veroorzaakt wordt. Deze ongewenste resultaten worden nog vergroot door het vrijkomen van deze residue

gassen binnen het afgedichte, met metaal beklede brandstof-  
element, aangezien het de inwendige druk binnen het element  
verhoogt en aldus spanningen introduceert in aanwezigheid van  
corrosieve omstandigheden, waarop men bij het oorspronkelijk  
ontwerp van de beklede buis niet gerekend had.

In de elektronische industrie zijn diverse elektronische  
componenten ontworpen met ingebouwde "getter" om in chemisch  
opzicht een combinatie aan te gaan met de residue sporen gas  
in de componenten. Een getter wordt eveneens gebruikt om de  
zuiverheid van het vacuüm in geëvacueerde elektronische compo-  
nenten te handhaven. Dit is een goedkoper middel om de elek-  
tromische component te beschermen dan het toepassen van een  
vacuüm trekkende inrichting om een elektronische component  
volledig te evacueren. Materialen, die gewoonlijk toegepast  
worden als getters bij elektronische componenten zijn barium  
en bariumlegeringen zoals barium-aluminiumlegeringen. Barium  
en bariumlegeringen zijn in het bijzonder geschikt voor dit  
gebruik omdat deze materialen voldoende stabiel zijn om een  
veilig hanteren mogelijk te maken tijdens het samenstellen  
van de elektronische component en toch voldoende reactief  
zijn om de residue gassen op effectieve wijze vast te binden.

Barium is het op de meest ruime schaal toegepaste active  
metallische materiaal voor getters van het flitstype in elek-  
tronische elementen.

Getters voor groot oppervlakkontakt worden gebruikt  
in omgevingen van hogere temperatuur in beperkte volumes,  
waar een flitsgetteroopraktisch zou zijn. Om effectief te zijn  
moeten de groot kontaktgetters werken onder hete omstandig-  
heden, maar worden niet geflitst. Metalen, of mengsels van  
metalen toegepast in groot kontaktgetters omvatten thorium,  
titaan, cesium, zirconium, uranium, tantaal, hafnium, niobium,  
lanthanum, of mengsels van zeldzame aardmetaalelementen zoals  
misch metaal.

In het licht van het voorafgaande is het gewenst ge-  
bleken om de hoeveelheid water, waterdamp en andere gassen,

die reactief zijn met de bekleding in het inwendige van het brandstofelement tot een minimum terug te brengen gedurende de gehele tijd, dat de kernbrandstof wordt gebruikt tijdens bedrijf van kernenergiecentrales. Een eerste aanpak is geweest het binden van materialen, welke chemisch snel zullen reageren en combineren met of absorberen water, waterdamp en andere reactieve gassen teneinde deze te elimineren uit het inwendige van de bekleding. Ofschoon verschillende getters voor water en waterdamp gevonden zijn, zoals de zirconium-titaangetter besproken in het Amerikaanse octrooischrift 2.926.981, is het gewenst gebleven een getter te ontwikkelen met gelijke of grotere reactiesnelheid met vocht en gassen, en welke de eigenschap heeft om snel te reageren bij temperaturen, die zich voordoen bij de fabricage van kernbrandstofelementen.

Vastgesteld is dat bij een voorkeurspraktijk een getter in korrelvorm gehouden dient te worden in een houder, welke het vasthouden zal verzekeren niet alleen van de oorspronkelijke deeltjes van de legering, maar eveneens enig reactieprodukt van de legering, dat een veel kleinere gemiddelde deeltjesgrootte zou kunnen hebben. Vastgesteld is eveneens, dat de houder voor het bewaren van de legering in korrelvorm gemakkelijk te vullen moet zijn, in staat moet zijn om in bepaalde dimensies te worden vervaardigd binnen nauwe toleranties en relatief bestand moet zijn tegen deformatie tijdens het hanteren ervan.

Verrassenderwijze is gebleken, dat korrelvormig barium of bariumlegering (welke hierna beide zullen worden aangeduid met bariumbevattend materiaal) aangebracht in de open ruimte van een kernbrandstofelement de samenhang van een kernbrandstofelement kan beschermen en de aantasting van de bekleding kan voorkomen door het op effectieve wijze getteren van water, waterdamp en gassen, die reactief zijn met de bekleding. Dit resulteert in een nieuwe combinatie van een kernbrandstofelement bevattende een toeslag van een barium bevattend materiaal, dat reageert met water, waterdamp en reactieve gassen

7306789

bij temperaturen in het bereik vanaf kamertemperatuur tot de temperaturen, welke heersen in de open ruimte van het brandstofelement. In een voorkeursuitvoeringsvorm is de getter van een barium bevattend materiaal in korrelvorm en wordt gehouden  
5 in een holle houder, die voorzien is van een groot aantal gasdoorlatende openingen in een gedeelte van de houder, welke is gelegen in de open ruimte van het kernbrandstofelement. Op deze wijze is het bariummateriaal aangebracht in één van de koelste plaatsen in het brandstofelement tijdens de reactor-  
10 werking en deze plaatsing elimineert nagenoeg enige omkering van de getterende reactie van het bariumhoudende materiaal met water, waterdamp en reactieve gassen. De houder bevattende het bariumhoudende materiaal verzekert een vasthouden van niet  
15 alleen de oorspronkelijke deeltjes van het bariummateriaal, maar eveneens elk reactieprodukt van de legering, dat een veel kleinere gemiddelde deeltjesgrootte zou kunnen hebben, en de houder is gemakkelijk te vullen, kan in gegeven afmetingen worden ver-  
vaardigd en is nagenoeg resistent tegen deformatie tijdens het hanteren ervan.

20 De uitvinding zal hieronder aan de hand van de figuren der bijgaande tekening nader worden toegelicht.

Figuur 1 toont een doorsnede van een deel van een kernbrandstofsamenstel bevattende kernbrandstofelementen ver-  
vaardigd in overeenstemming met de uitvinding, waarbij een ele-  
25 ment gedeeltelijk in doorsnede is weergegeven;

figuur 2 toont een doorsnede over de lege ruimte of holtegedeelte van een kernbrandstofelement, welke de ligging illustreert van de getter in een gasdoorlatende houder, die geplaatst is binnen een spiraallichaam in de lege ruimte; en

30 figuur 3 toont de gasdoorlatende houder in doorsnede, welke een getter bevat van een barium bevattend materiaal in korrelvorm.

Onder verwijzing thans thans in het bijzonder naar figuur 1, is daarin weergegeven een aanzicht, gedeeltelijk in  
35 doorsnede, van een kernbrandstofsamenstel 10. Dit brandstof-

samenstel bestaat uit een buisvormig stroomkanaal 11 van in hoofdzaak vierkante doorsnede met een hijsjuk 12, dat zich uitstrekt boven het kanaal 11, en een neusstuk aan het onder-einde van kanaal 11 (wat niet te zien is, omdat het onderste gedeelte van het samenstel 10 is weggelaten). Het bovenste einde van het kanaal 11 is open bij 13 en het onderste einde van het neusstuk is voorzien van doorstroomopeningen voor een koelmiddel. Een rangschikking van brandstofelementen 14 is opgesloten in kanaal 11, waarbij één der brandstofelementen, namelijk 14', gedeeltelijk in doorsnede is weergegeven, welke rangschikking daarin wordt ondersteund door middel van een bovenste eindplaat 15 en een onderste eindplaat (welke niet te zien is omdat het onderste gedeelte weggelaten is). Het vloeibare koelmiddel treedt gewoonlijk binnen door de openingen in het onderste einde van het neusstuk, stroomt naar boven rondom brandstofelementen 14, en treedt uit aan de bovenste uitlaat 13 in een gedeeltelijk verdampte toestand bij heet waterreactoren of in een onverdampte toestand bij hoge drukreactoren bij verhoogde temperaturen.

Onder verwijzing thans naar figuur 2 naast figuur 1 wordt een kernbrandstofelement of stang 14' weergegeven in gedeeltelijke doorsnede, vervaardigd in overeenstemming met de onderhavige uitvinding. Het brandstofelement omvat brandstofmateriaal 16, hier weergegeven als een aantal brandstofkralen van splijtbaar en/of verrijkt materiaal aangebracht binnen een constructieve bekleding of houder 17. In sommige gevallen kunnen de brandstofkralen diverse vormen hebben; in andere gevallen kunnen verschillende brandstofvormen zoals korrelvormige brandstof worden gebruikt. De lichamelijke vorm van de brandstof is irrelevant voor deze uitvinding. Diverse kernbrandstofmaterialen kunnen worden gebruikt omfattende uraniumverbindingen, plutoniumverbindingen, thoriumverbindingen en mengsels ervan. Een de voorkeur verdienende brandstof is uraniumdioxide of een mengsel bevattende uraniumdioxide en plutoniumdioxide. De houder wordt aan zijn einde afgedicht door middel van eindstoppen

18, welke tappen 19 kunnen omvatten om de montage van de brandstofstaaf in het samenstel te vergemakkelijken. Een holte of lege ruimte 20 is aanwezig aan het ene einde van het brandstofelement om longitudinale expansie van het brandstofmateriaal en opzameling van uit het brandstofmateriaal vrijgekomen gassen mogelijk te maken. Een spiraallichaam 21 is aangebracht binnen de ruimte 20 en is in staat om inwendige ondersteuning te verschaffen voor dat gedeelte van de bekleding 17, welke de ruimte 20 omgeeft en welke niet op andere wijze ondersteund is tegen de uitweddige druk van de moderator-koelmiddelfluid. Het spiraallichaam 21 dient voor het handhaven van de positie van de brandstof tijdens het hanteren en transporteren van de brandstofelementen. De bekleding 17 is aan eindstoppen 18 bevestigd door middel van omtrekslassen 22.

Het brandstofelement is ontworpen om een uitstekend thermisch contact te verschaffen tussen de brandstofbekleding en het brandstofmateriaal, een minimum aan parasitaire neutronenabsorptie en weerstand tegen buiging en trilling, welke terloops veroorzaakt wordt, doordat het koelmiddel met hoge snelheid stroomt.

Onder verwijzing naar figuren 2 en 3 is in de lege ruimte 20 binnen het spiraallichaam 21 (bij voorkeur een roestvrijstalen spiraallichaam 21) een holle houder 23 aangebracht, bij voorkeur een metallische houder zoals een roestvrijstalen houder, voorzien van een groot aantal gasdoorlatende openingen in een gedeelte van de houder, bij voorkeur het ene einde of het deksel 25 van de houder, welke openingen gassen en vloeistoffen, die de lege ruimte 20 binnentreden, in staat stellen de houder 23 binnen te gaan. In de houder 23 is een toeslag van een getter 24 aangebracht bestaande uit barium of bariumlegeringen, welke naast barium één of meer metaallegerende bestanddelen bevatten zoals aluminium, zirconium, nikkel, titaan en combinaties hiervan. De getter is bij voorkeur korrelvormig om het oppervlak per gewichtseenheid van de voor reactie met de de houder 23 binnentredende gassen en vloeistoffen beschikbare getter

7306789



zo groot mogelijk te doen zijn.

In het algemeen zullen de legerende bestanddelen 15 gew.% van de legering uitmaken, terwijl de rest barium is. Echter worden bepaalde voordige legeringen met meer dan 15 gew.% eveneens tot de onderhavige uitvinding gerekend. Een dergelijke voorkeurslegering bevat ongeveer 50 gew.% aluminium en voor de rest barium; een andere dergelijke legering bevat 10 gew.% nikkel, ongeveer 40 gew.% aluminium en voor de rest barium; en nog een andere dergelijke legering bevat ongeveer 15 tot ongeveer 20 gew.% zirconium en voor de rest barium.

Ofschoon figuren 2 en 3 een voorkeursuitvoeringsvorm van de getter volgens de uitvinding voorstellen, kunnen aanvullende fysische vormen van de getter worden toegepast in de lege ruimte 20, waaronder folie, vel, filmen, draad, stang, staaf en combinaties hiervan. Deze andere lichamelijke vormen kunnen worden geplaatst in lege ruimten, bij voorkeur binnen het spiraallichaam 20 en bij voorkeur in een houder, zoals de roestvrijstalen houder 23.

De houder 23 in figuren 2 en 3 heeft bij voorkeur de vorm van een rechte cilinder, ofschoon elke andere vormgeving voor de houder geschikt is. Het ene einde of het deksel 26 en het cilindrische wandgedeelte 28 bestaan uit massief metaal, bij voorkeur roestvrijstaal, en het andere einde of het deksel 25 wordt bij voorkeur gevormd door zeefmateriaal, bij voorkeur een zeef van roestvrij staal met een maatswijdte van ongeveer 0.037 tot ongeveer 0.50 mm. De houder wordt samengesteld door lassen, hardsolderen of een andere wijze van afdichting van het massieve einde en het zeefeinde in het holle cilindrische wandgedeelte 28. De einden of deksels 25 en 26 zijn bij voorkeur concaaf of uitgespaard in de cilinder zoals weergegeven in de figuur 3 om het lassen te vergemakkelijken. Een effectieve hoeveelheid van de getter wordt geladen in de houder, waarbij het ene einde open is, bij voorkeur het zeefeinde, waarna een eindsluiting wordt aangebracht, typisch door puntlassen. Bij voorkeur wordt ongeveer 5 plus of min 1 gram getter gebruikt in een

7306789

brandstofstaaaf bevattende ongeveer 5 kg. gesinterd kernbrandstofmateriaal (of in het algemeen ongeveer 1 gram getter per kilogram brandstofmateriaal). Grotere hoeveelheden getter worden gebruikt in poederbrandstofstaven en in brandstofstaven, waarvan vermoed wordt dat zij grote hoeveelheden schadelijke gassen bevatten.

Het voorkeur gebruik van de hierin geopenbaarde getterhouder 23 resulteert in extra voordelen. De houder 23 verzekert het vasthouden van de korrelvormige getter en enig reactieproduct, dat resulteert uit de reactie van de getter met reactieve gassen in het brandstofelement. Op deze wijze zal korrelvormig materiaal uit de lege ruimte niet in staat zijn om het gedeelte van het brandstofelement binnen te gaan, dat bezet wordt door de kernbrandstof, en zullen de getterreactieprodukten worden vastgehouden in de lege ruimte, d.i. het lagere temperatuurgedeelte van het brandstofelement. Dit houdt de getterreactieprodukten op lagere temperaturen en vermindert de kans, dat de reactieprodukten aan hogere temperaturen worden blootgesteld, waardoor de reactieve gassen, die onder vorming van het reactieproduct gecombineerd zijn, zouden vrijkomen. De houder 23 kan gemakkelijk gevuld worden, binnen zeer nauwe afmetingstoleranties vervaardigd worden, en bezit uitstekende stabiliteit in afmetingen als gevolg van de sterkte van het metaal, dat het cilindrische wandgedeelte vormt. Voorts vermindert de sterkte van het metaal, dat het cilindrische wandgedeelte vormt, de vervorming van de houder tijdens het hanteren en het samenstellen van het brandstofelement. In een andere uitvoeringsvorm van de houder kunnen één of meer openingen in een gedeelte van het cilindrische wandgedeelte 28 worden gemaakt om de gassen toegang te verschaffen tot de getter. Deze uitvoeringsvorm kan het zeefeinddeksel 25 bevatten of een massief einddeksel bezitten ter vervanging van het zeefeindedeksel 25.

De in het kernbrandstofelement volgens de uitvinding toegepaste getter en de eigenschappen ervan zullen nu uitvoeringer worden besproken.

7306789

Men heeft gevonden, dat een materiaal geschikt voor het beheersen van vocht en andere reactieve gassen door deze chemisch te combineren met een getter, een combinatie van eigenschappen dient te bezitten. Een gewenste eigenschap is de vermindering van eventueel vrije waterstof na de chemische reactie van de getter met water, aangezien de vermindering van vrije waterstof eventuele waterstofgebreken in de bekleding van kernbrandstofelementen kan voorkomen. Aldus dient de getter bij benadering stoechiometrisch te reageren met het water en de waterdamp (beide hierin genoemd water) en op zodanige wijze, dat er een verwaarloosbare netto opbrengst van waterstof uit de reactie aanwezig is. De getter dient eveneens snel te reageren met het water bij de in het stelsel heersende temperatuur, waarbij de getter wordt toegepast. De getter dient in het algemeen een lage neutronendoorsnede te bezitten en goedkoop in fabricage te zijn. De getter dient eveneens de eigenschap te bezitten om te reageren met waterstof, andere reactieve gassen zoals koolmonoxide, kooldioxide, zuurstof, stikstof en waterstof bevattende verbindingen zoals koolwaterstoffen.

Barium en bariumlegeringen, zoals hierin geopenbaard, bezitten de hiervoor genoemde eigenschappen en kunnen gemakkelijk worden verkregen of gefabriceerd in de vorm van kleine deeltjes, waarvan de grootte zodanig is, dat ze Tyler zeven met de nummers 1 tot 8 kunnen passeren, welke een groot kontaktoppervlak geven voor reactie met andere in het brandstofelement aanwezig reactieve gassen. Bariumlegeringen, die naast barium één of meer metalen bevat, zoals aluminium, zirconium, nikkel, titaan en combinaties ervan, kunnen gemakkelijk in de handel verkregen worden en verschaffen, indien beschikbaar in het hiervoor genoemde deeltjesbereik een groot kontaktoppervlak, dat kan reageren met eventuele in het brandstofelement aanwezige reactieve gassen.

Het gehalte aan onzuiverheden in de barium bevattende materialen, is niet kritisch voor de ontplooiing van de hiervoor genoemde gettereigenschappen, en betrekkelijk grote hoevee-

heden onzuiverheden kunnen aanwezig zijn in de vervaardigde barium bevattende materialen zolang het oppervlak van de barium bevattende materialen barium bevat, dat op effectieve wijze wordt blootgesteld aan de reactie. In de praktijk heeft men  
5 ontdekt, dat een zuurstofgehalte tot verscheidene duizenden delen per miljoen in de barium bevattende materialen toelaatbaar is. Stikstofgehalten tot ongeveer 750 delen per miljoen zijn toelaatbaar bij de toepassing van de barium bevattende materialen. Andere onzuiverheden gevonden in de barium bevattende  
10 de materialen toegepast bij de onderhavige uitvinding, welke hun gebruik als getter bij kernbrandstofstaven niet verhinderen, omvatten waterstof en koolstof. Metrische onzuiverheden gevonden in de barium bevattende materialen, welke het gebruik van de barium bevattende materialen als getter niet verhinderen,  
15 zijn hafnium in hoeveelheden tot ongeveer 1000 per miljoen of meer, ijzer in hoeveelheden tot ongeveer 1000 delen per miljoen of meer en chroom in hoeveelheden tot ongeveer 1000 delen per miljoen of meer. Het feit dat het onzuiverheidsgehalte van de barium bevattende materialen niet kritisch is voor hun toepassing als vochtgetters maakt de fabricage van de barium bevattende materialen mogelijk uit overeenkomstige metallische componenten van lage kwaliteit. Aangezien de barium bevattende materialen worden toegepast in de lege ruimte van de brandstof-  
20 elementen, bieden kleine hoeveelheden onzuiverheden met hoge neutronenabsorptiedoorsnede een verwaarloosbare overlast.  
25

De bij de onderhavige uitvinding gebruikte barium bevattende materialen bezitten de eigenschap om te reageren met water gedurende lange tijdsperioden met een snelle reactiesnelheid over een temperatuurbereik van ongeveer kamertemperatuur  
30 (typisch ongeveer  $21^{\circ}\text{C}$ ) tot de temperatuur in de lege ruimte van het brandstofelement (typisch  $343^{\circ}\text{C} \pm 56^{\circ}\text{C}$ ) zonder passief te worden. Tijdens de reactie met water laten de barium bevattende materialen vrijwel geen vrije waterstof achter, zodoende zal de in samenhang met de getters volgens de uitvinding gebruikte bekleding nagenoeg niet blootgesteld zijn aan water-  
35

stof, waardoor de vorming van metallische hydriden geëlimineerd wordt, hetgeen uiteindelijk zou leiden tot verzwakking of falen van de bekleding. Dit minimale vrijkomen van waterstof tijdens de reactie van de barium bevattende materialen met water duidt er op dat er een nagenoeg stoechiometrische reactie plaatsvindt tussen de barium bevattende materialen en water. Onderzoekingen tonen aan, dat de bij deze uitvinding toegepast barium bevattende materialen gemakkelijk reageren met waterstof in hun temperatuurbereik vanaf kamertemperatuur tot de bedrijfstemperaturen van de reactor, zodat deze materialen efficiënte waterstofgetters zijn. De barium bevattende materialen reageren eveneens met waterstof bevattende verbindingen, zoals koolwaterstoffen en met andere gassen, zoals stikstof, kooldioxide, koolmonoxide en zuurstof. De barium bevattende materialen bezitten een lage neutronendoorsnede vereist bij gebruik van nucleaire toepassingen, wanneer de onzuiverheden, welke een hoge neutronendoorsnede bezitten, worden verminderd.

C O N C L U S I E S

1. Kernbrandstofelement, dat een langwerpige beklede houder bevat, waarin een lichaam van kernbrandstofmateriaal aangebracht is, dat gedeeltelijk de beklede houder vult en een inwendige holte vormt, waarbij een eindsluiting integraal bevestigd en afgedicht is aan elk einde van de beklede houder, terwijl in de holte een spiraallichaam, alsmede een effectieve hoeveelheid van een toeslag aan barium of bariumlegeringen aangebracht is, welke legeringen een legerend bestanddeel bevatten van aluminium, zirconium, nikkel, titaan of combinaties ervan.

10

2. Kernbrandstofelement volgens conclusie 1, met het kenmerk dat de toeslag wordt bewaard in een houder aangebracht in een het spiraallichaam in de holte, welke houder een groot aantal gasdoorlatende openingen bezit in een gedeelte van de houder.

15

3. Kernbrandstofelement volgens conclusie 1 of 2, met het kenmerk, dat de bariumlegering gevormd wordt door een barium-aluminiumlegering, een barium-aluminium-nikkellegering, een barium-zirconiumlegering, een barium-nikkellegering, of een barium-titaanlegering.

20

4. Kernbrandstofelement volgens één der voorafgaande conclusies, met het kenmerk, dat de beklede houder bestaat uit zirconium, zirconiumlegeringen, roestvrijstalen legeringen, aluminium of aluminiumlegeringen.

25

5. Kernbrandstofelement volgens één der voorafgaande conclusies, met het kenmerk, dat het kernbrandstofmateriaal bestaat uit uraniumverbindingen, plutoniumverbindingen, thoriumverbindingen of mengsels ervan.

30

6. Kernbrandstofelement volgens conclusie 5, met het kenmerk, dat het kernbrandstofmateriaal bestaat uit uraniumdioxide of een mengsel bevattende uraniumdioxide en plutoniumdioxide.

7. Werkwijze voor het vervaardigen van een kernbrandstofelement, gekenmerkt door het gedeeltelijk vullen van een beklede houder met kernbrandstofmateriaal, terwijl een holte overgelaten

35

7306739

wordt aan één einde, dat open is, waarin een spiraallichaam gestoken wordt, alsmede een effectieve hoeveelheid van een toeslag aan barium of bariumlegeringen, welke een legerend bestanddeel bevatten van aluminium, zirconium, nikkel, titaan of combinaties ervan, waarbij een eindsluiting op het open einde van de beklede houder opgebracht wordt, terwijl de holte in verbinding gelaten wordt met de kernbrandstof, en vervolgens het einde van de beklede houder gebonden wordt aan de eindsluiting onder vorming van een dichte sluiting ertussen, waardoor de toeslag wordt blootgesteld aan reactieve gassen, welke binnen de beklede houder vrijkomen.

8. Werkwijze volgens conclusie 7, met het kenmerk, dat de toeslag korrelvormig is en in een holle houder bewaard wordt, welke houder een groot aantal gasdoorlatende openingen bezit in één gedeelte van de holle houder, waarbij de holle houder gestoken wordt in de holte binnen de beklede houder.

9. Werkwijze voor het beschermen van de bekleding van een kernbrandstofelement tegen inwendige aantasting, met het kenmerk, dat in het brandstofelement een effectieve hoeveelheid van een toeslag aan barium of bariumlegeringen wordt aangebracht.

10. Werkwijze volgens conclusie 9, met het kenmerk, dat de bekleding gevormd wordt uit een zirconiumlegering.

11. Werkwijze volgens conclusie 9 of 10, met het kenmerk, dat de toeslag wordt aangebracht in de lege ruimte van het brandstofelement.

12. Werkwijze volgens één der conclusies 9-11, met het kenmerk, dat de toeslag korrelvormig is en wordt bewaard in een gasdoorlatende houder.

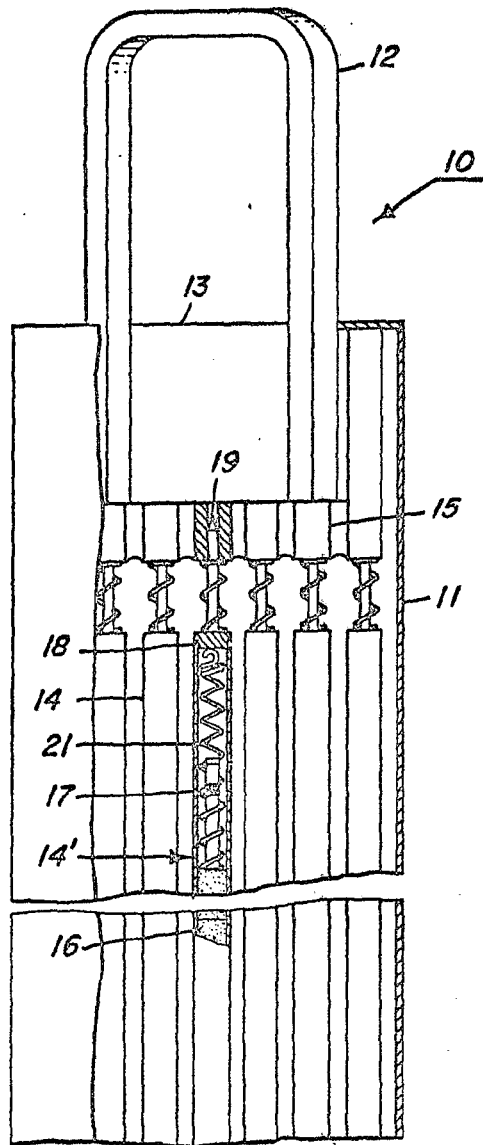


Fig. 1

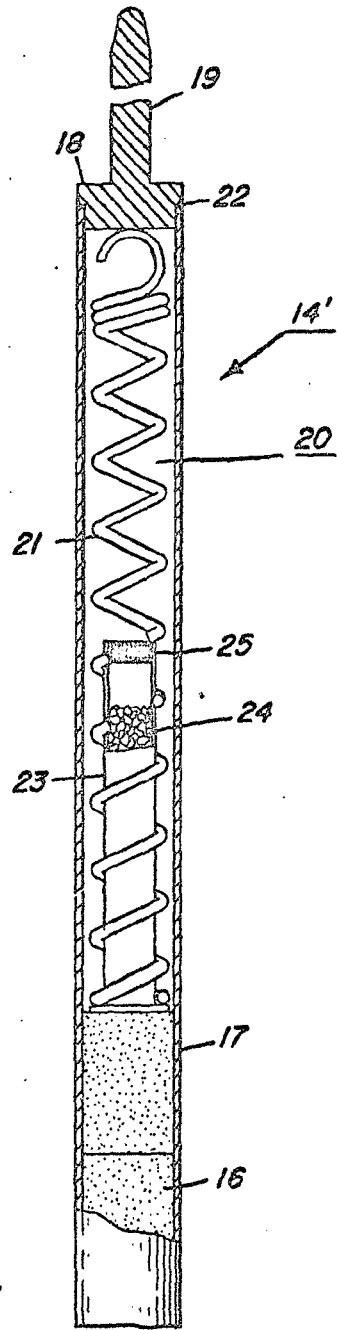


Fig. 2

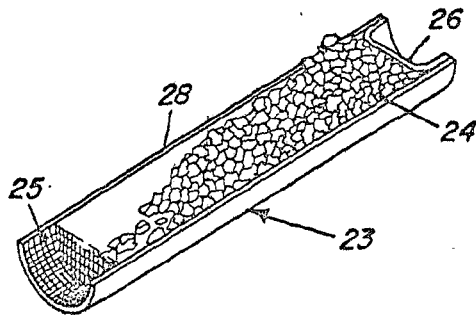


Fig. 3