

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



Urkunde

über die Erteilung des Patents

1 564 070

Für die in der angefügten Patentschrift dargestellte Erfindung ist in dem gesetzlich vorgeschriebenen Verfahren

der Fa. Erno Raumfahrttechnik GmbH, 2800 Bremen

ein Patent erteilt worden, das in der Rolle die oben angegebene Nummer erhalten hat. Das Patent führt die Bezeichnung

Radionuklidbatterie mit thermionischer Energiewandlung

und hat angefangen am 27. März 1966.

Deutsches Patentamt



BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

DEUTSCHES PATENTAMT



Deutsche Kl.: 21 g, 21/30

Patentschrift 1 564 070

Aktenzeichen: P 15 64 070.7-33 (H 58919)
Anmeldetag: 26. März 1966
 Offenlegungstag: —
 Auslegungstag: 10. September 1970
 Ausgabetag: 15. April 1971
 Patentschrift stimmt mit der Auslegeschrift überein

Ausstellungspriorität: —

Unionspriorität: —

Datum: —

Land: —

Aktenzeichen: —

Bezeichnung: Radionuklidbatterie mit thermionischer Energiewandlung

Zusatz zu: —

Ausscheidung aus: —

Patentiert für: Erno Raumfahrttechnik GmbH, 2800 Bremen

Vertreter: —

Als Erfinder benannt: Hannemann, Dieter, 2800 Bremen

Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:
 US-PS 3 232 717 »Atomkernenergie«, 9. Jahrgang, 1964,
 »Electronics«, April 1962, S. 35 bis 42 Nr. 1/2, S. 64 bis 67

Die Erfindung betrifft eine Radionuklidbatterie mit thermionischer Energiewandlung, bestehend aus einem allseits verschlossenen Vakuumgefäß, in dem ein den Emitter eines thermionischen Konverters tragender und Radionuklide einschließender Metallblock untergebracht ist, bei der zwischen dem Metallblock und der Wand des Vakuumgefäßes Wärmereflektoren in Schichten angeordnet sind, die durch wärmeisolierende Abstandshalter und Vakuum voneinander getrennt sind.

Eine derartige Radionuklidbatterie ist aus der Zeitschrift »Atomkernenergie«, 9. Jahrgang, 1964, Heft 1/2, S. 64 bis 67, bekannt.

Zum Betrieb eines thermionischen Wandlers braucht man hohe Temperaturen von etwa 1500 bis 2000° K. Diese Temperaturen lassen sich mit einem Isotopenofen nur schwer erreichen (nach Euler, Neue Wege zur Stromerzeugung, Frankfurt/Main, 1963, S. 38). Deshalb sind bisher nur solche thermische Radionuklidbatterien bekanntgeworden, bei denen die Isotopenstrahlung mit Hilfe von Termoelementen in nutzbare elektrische Energie umgesetzt wird; sie haben jedoch einen geringen Wirkungsgrad und sind deshalb für manche Zwecke, z. B. für die Raumfahrt, zu schwer und unwirtschaftlich.

Thermische Radionuklidbatterien, in denen die Wärme mit Hilfe von thermionischen Dioden in Elektrizität umgewandelt wird, lassen sich mit reinem Strontium-90 nicht verwirklichen, weil der Schmelzpunkt von 1073° K weit unter der Betriebstemperatur von thermionischen Wandlern liegt.

Auch Strontiumoxid (⁹⁰SrO) wird trotz seines Schmelzpunktes von 2703° K für ungeeignet gehalten (vgl. Euler, S. 36), weil infolge der geringen Leistungsdichte wirtschaftlich und gewichtlich vertretbare Mengen nicht ausreichen, die Betriebstemperatur von thermionischen Wandlern zu erreichen.

Es ist bekannt, thermionische Radionuklidbatterien mit einem Radionuklid hoher Leistungsdichte auf Betriebstemperatur zu bringen. Eine derartige Radionuklidbatterie ist z. B. in der Zeitschrift »Atomenergie«, 9. Jahrgang, 1964, Heft 1/2, S. 64 bis 67, beschrieben. Derartige Radionuklidbatterien haben aber eine sehr geringe Lebensdauer von z. B. 4 bis 5 Monaten, die durch die geringe Halbwertszeit des Radionuklids bedingt ist. Für den Einsatz in der Raumfahrttechnik sind daher derartige Radionuklidbatterien ungeeignet.

Es ist auch bekannt, Radionuklide aus der Gruppe geringer Leistungsdichte für thermionische Radionuklidbatterien zu verwenden. In der USA.-Patentschrift 3 232 717 ist z. B. eine Radionuklidbatterie beschrieben, bei der der thermionische Wandler durch Urankarbid, das zu der Gruppe der Radionuklide geringer Leistungsdichte gehört, auf Betriebstemperatur gebracht wird. Da das Urankarbid ein keramischer Werkstoff ist, der bei den auftretenden hohen Temperaturen sehr leicht reißen würde, ist das Urankarbid mit einem Metall, z. B. Wolfram oder Rhenium, zu einem Sinterwerkstoff verarbeitet. Hierbei bilden der Elektronenemitter und die Radionuklide ein Bauteil.

Nachteilig ist hierbei, daß sowohl bei der Herstellung des Sinterwerkstoffes als auch beim Betrieb der Radionuklidbatterie Vorkehrungen zum Schutz des Urankarbids getroffen werden müssen, da dieses bei hohen Temperaturen leicht mit anderen Werkstoffen reagiert. Das Urankarbid besteht im wesentlichen

aus UC- und UC₂-Kristallen und aus ganz wenigen und nicht beabsichtigten U₂C₃-Kristallen.

Eine weitere Radionuklidbatterie ist in der Zeitschrift »Electronics« vom 6. April 1962, S. 40 bis 42, beschrieben. Bei dieser Batterie handelt es sich aber um einen thermoelektrischen Wandler, da die elektrische Energie mit einer Vielzahl von thermoelektrischen Elementen erzeugt wird. Als Radionuklid dient Strontiumtitanat, das zwar zur Gruppe der Radionuklide geringer Leistungsdichte gehört, aber nur eine für den Betrieb von thermoelektrischen Elementen geeignete Temperatur zu erzeugen vermag. Für eine Radionuklidbatterie mit thermionischer Energiewandlung ist dieses Radionuklid nicht geeignet.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine nukleare Energieversorgungsanlage, insbesondere für Raumfahrtzwecke zu erstellen, die ein niedriges Leistungsgewicht und eine lange Lebensdauer aufweist sowie relativ geringe Kosten, insbesondere für den Isotopeneinsatz, verursacht.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß Radionuklide geringer Leistungsdichte in einem zweidimensionalen Stabgitter dichtester Packung derart angeordnet sind, daß sich im Gitter ein die Radionuklide enthaltender Stab und ein wärmeleitender Stab abwechseln, und daß die Stäbe in flüssiges Metall eintauchen, das in dem Metallblock vorgesehen ist.

Bei der oben beschriebenen Radionuklidbatterie wird der Wandler durch Isotope von geringer Leistungsdichte, z. B. durch Strontium-90-Oxid (⁹⁰SrO), auf Betriebstemperatur gebracht. Die — unter Überwindung eines allgemeinen Vorurteils (vgl. zum Beispiel Euler, S. 36) — hierfür vorgesehenen Isotope geringer Leistungsdichte besitzen eine große Halbwertszeit, so daß solche Energiequellen eine lange Betriebsdauer aufweisen. Von diesen Isotopen haben die β -Strahlen zwar eine besonders geringe Leistungsdichte, lassen sich aber leicht und billig herstellen. Das gilt vor allem für Strontium-90-Oxid, einem langlebigen β -Strahler mit der relativ hohen Leistungsdichte von 3,78 Watt/cm³, bei dem auch noch die unerwünschte und schädliche γ -Strahlung verhältnismäßig gering ist.

Bei Isotopen mit geringer Leistungsdichte benötigt man an sich große Mengen, um hohe Temperaturen zu erzeugen, weil das Verhältnis Oberfläche zu erzeugter Leistung sehr groß ist. Diese Mengen sind bekanntlich nicht einsetzbar, weil der Isotopenkörper innen flüssig oder gar gasförmig werden würde.

Für die hier verwendeten kleinen Mengen war eine Isolation mit bisher nicht erreichtem Widerstand zu schaffen, um die Temperatur des mit dem Isotopentopf gekoppelten thermionischen Wandlers auf eine für einen guten Wirkungsgrad notwendige Höhe anwachsen zu lassen.

Durch eine berührungslose Anordnung der Reflektoren im Vakuum wird die Ableitung der Wärme des heißen Isotopentopfes verhindert. Die Reflektoren werfen die Strahlung zurück. Eine große Anzahl von Reflektoren ist vorgesehen, um die Erwärmung der einzelnen Reflektoren zu kompensieren, denn bekanntlich liegt der Reflexionsgrad unter 100%, so daß jeder Reflektor einen Teil der Strahlungsenergie aufnimmt und sich dadurch aufheizt. Ein aufgeheizter Reflektor strahlt seine Wärme nach

allen Richtungen ab. Der nach außen folgende Reflektor wirft den größten Teil dieser Wärmeenergie zurück, nimmt aber einen kleinen Teil auf, heizt sich ebenfalls auf, gibt diese aus seiner Aufheizung stammende Wärmeenergie zum Teil an den dritten Reflektor weiter und so fort, bis die Temperatur des äußersten Reflektors genügend niedrig ist. Eine berührungslose Anordnung der Reflektoren verhindert eine Wärmeleitung.

Die wechselweise Anordnung von Isotopen- und Wärmeleitstäben hat den Zweck, die Temperaturdifferenzen zwischen der heißesten Stelle im Isotopentopf und der kältesten Stelle, nämlich dem Emitter des thermionischen Wandlers so weit zu reduzieren, daß trotz hoher Wandlertemperaturen die für die Materialien im Isotopentopf zulässige Temperatur nicht überschritten wird. Als Wärmebrücke zwischen den einzelnen Stäben ist außerdem ein Flüssigmetall vorgesehen; dadurch werden Temperaturspünge vermieden.

Zweckmäßig ist es, als Wärmereflektoren dünne reflektierende Metallfolien zu verwenden, die durch über die Foliensfläche verteilte Körnchen bzw. Fäden sehr geringen Durchmessers aus einem Wärmeisolationmaterial auf Abstand gehalten sind.

Durch die Verwendung dünner Metallfolien, die schichtweise mit geringem Abstand aufeinander folgen, lassen sich zahlreiche Reflektoren auf sehr kleinen Raum unterbringen. Die als Abstandshalter dienenden Körnchen bzw. Fäden sind derart über der Foliensfläche verteilt, daß die Folien selbst sich an keiner Stelle berühren können.

Die oben beschriebene Radionuklidbatterie wird an Hand eines Ausführungsbeispiels näher erläutert. Es ist dargestellt in

Fig. 1 eine Radionuklidbatterie mit ^{90}SrO und thermionischem Wandler,

Fig. 2 ein Radialschnitt durch den Isotopentopf,

Fig. 3 in vergrößertem Maßstab die Sicht auf einen Ausschnitt aus einer Reflektorschicht,

Fig. 4 ein Schnitt durch einen Teil der Reflektorschichten,

Fig. 5 ein nochmals vergrößerter Ausschnitt aus Fig. 4.

Im Inneren der Batterie (Fig. 1) befindet sich der Isotopentopf 1 mit den mit ihm verbundenen Wärmeleitstäben 1', die mit dem Topf zusammen gesintert oder auch gesondert eingeschweißt werden können. Um diese Wärmeleitstäbe 1' sind in Sechseckform Radionuklide enthaltende Stäbe 2, im folgenden Isotopenstäbe genannt, angeordnet (Fig. 2). Die Zwischenräume zwischen den Stäben 1' und 2 sind ausgefüllt durch ein Flüssigmetall 3, z. B. Kupfer. Durch diese wechselweise regelmäßige Anordnung wird die in den Isotopenstäben 2 erzeugte Wärme durch Vermittlung des Flüssigmetalls 3 auf kürzestem Wege an die Wärmeleitstäbe 1' weitergegeben, ohne die Möglichkeit des Auftretens von Temperaturspitzen, wie insbesondere aus Fig. 2 ersichtlich ist.

Die Isolation 4 verhindert in später noch erläuteter Weise unerwünschte Wärmeverluste, so daß der größte Teil der im Isotopentopf erzeugten Wärme durch die Wärmeleitstäbe 1' zur Emitterfläche 5 geleitet wird. Die heiße Emitterfläche 5 sendet bekanntlich Elektronen aus, die vom Kollektor 6 aufgefangen und von dort durch den Batteriemantel 7 dem Verbraucher zugeführt wird. Die Rückleitung erfolgt durch die isolierten Stromadern 8. Die nicht zur Er-

findung gehörige Vorrichtung 9 erzeugt Caesiumdampf, der zum Betrieb des thermionischen Wandlers notwendig ist. Die von der heißen Emitterfläche 5 abgestrahlte Verlustwärme wird ebenfalls vom Kollektor 6 aufgenommen; dadurch heizt er sich auf. Da der Wirkungsgrad des Wandlers mit der Höhe der Temperaturdifferenz zwischen Emitterfläche 5 und Kollektor 6 wächst, wird der Kollektor 6 durch Ableitung der Verlustwärme in den Batteriemantel 7 gekühlt. Der Batteriemantel 7 selbst wird durch Wärmeabstrahlung gekühlt.

Die oben erwähnte Isolation 4 (Fig. 3 bis 5) besteht aus zahlreichen Reflektoren 10, die bei diesem Ausführungsbeispiel als 0,025 mm dicke polierte Wolframfolien ausgeführt sind, die in einem Abstand von 0,1 mm aufeinander folgen. Die einzelnen Reflektoren 10 dürfen einander nicht berühren, weil sonst eine Wärmeleitung erfolgen würde. Der Abstand ist gesichert durch Fäden 11 aus Isolationsmaterial von 0,1 mm Durchmesser, die in ausreichendem Abstand über die ganze Fläche der Reflektoren 10 verteilt sind. Die Kreuzungspunkte der Fäden sind z. B. verschweißt und auf Fadendurchmesser gebracht. Natürlich können anstatt Fäden auch einzelne sinngemäß angeordnete Körner verwendet werden, die noch geringere Verluste durch Wärmeleitung aufweisen als Fäden. Zwecks Verhinderung der Wärmeleitung durch Gase befinden sich die Reflektoren im Vakuum, das durch ein nicht näher zu erläuterndes Loch im Batteriemantel 7 auf Erden erzeugt und im Weltenraum aufrechterhalten wird.

Die Wirkungsweise der Isolation 4 beruht darauf, daß der innerste Reflektor den größten Teil der vom Isotopentopf 1 ausgestrahlten Wärmeenergie auf ihn zurückwirft; ein kleiner Teil wird jedoch absorbiert und heizt dadurch diesen ersten Reflektor auf. Dieser heiße Reflektor emittiert seinerseits Wärme einmal in Richtung auf den Isotopentopf 1 und andererseits in Richtung auf den zweiten Reflektor, der wiederum den größten Teil auf den ersten Reflektor zurückwirft, sich aber durch den kleinen absorbierten Anteil selbst aufheizt. Der erste Reflektor wird durch die vom zweiten Reflektor zurückgestrahlte Wärme heißer und strahlt dadurch noch mehr Wärme auf den Isotopentopf 1 ab. Diese Vorgänge wiederholen sich bei den folgenden Reflektoren entsprechend; im stationären Fall herrscht dann ein Strahlungsgleichgewicht zwischen den einzelnen Reflektoren. Daraus ist ersichtlich, daß eine große Anzahl Reflektoren erforderlich ist, um die Abstrahlungsverluste des letzten Reflektors auf das zulässige Maß zu reduzieren. Eine besonders große Anzahl von Reflektoren ist bei hohen Betriebstemperaturen erforderlich, da das Emissionsverhältnis mit der Temperatur steigt, der Reflexionsgrad dagegen sinkt.

Nach vorliegender Erfindung hat eine Isolation, bei der z. B. 160 Reflektoren erforderlich sind, eine Dicke von nur 20 mm.

Gegenüber bekannten Radionuklidbatterien konnte der Wirkungsgrad dieser Anlage auf 13 bis 15%, d. h. etwa um einen Faktor 3, gehoben werden.

Steigt aber der Wirkungsgrad um das Dreifache, dann sinken die Kosten und die Masse des Isotopeneinsatzes auf ein Drittel. Durch die Verringerung der Isotopenmasse und durch die höhere Arbeitstemperatur von thermionischen Wandlern sinkt die Gesamtmasse des Generators erheblich, weil bei höhe-

ren Arbeitstemperaturen sich die für die Verlustwärme erforderliche Abstrahlfläche bedeutend verringert, da diese Fläche mit der vierten Potenz der Temperatur abnimmt; dadurch sinkt die Generatormasse je elektrischer Leistungseinheit um mehr als die Hälfte der bisher bekanntgewordenen Konstruktionen. Eine geringe Generatormasse ist besonders für die Raumfahrt von besonderer Bedeutung, da die Kosten für den Transport je Kilogramm in den Raum sehr hoch sind.

Durch die Verwendung von β -Strahlern, insbesondere von Strontium-90, das als Reaktorabfallprodukt entfällt, lassen sich die Kosten für den Isotopeneinsatz auf etwa ein Fünftel verringern.

Im Zusammenhang mit der aus der Wirkungsgradverbesserung resultierenden Kostensenkung von einem Drittel ergibt sich eine Gesamtverbilligung auf ein Fünfzehntel. Durch die Verwendung von β -Strahlern mit großer Halbwertzeit läßt sich mühelos eine mehrjährige Lebensdauer bei fast konstanter Leistung erreichen.

Patentansprüche:

1. Radionuklidbatterie mit thermionischer Energiewandlung, bestehend aus einem allseits verschlossenen Vakuumgefäß, in dem ein den

Emitter eines thermionischen Konverters tragender und Radionuklide einschließender Metallblock untergebracht ist, bei der zwischen dem Metallblock und der Wand des Vakuumgefäßes Wärmereflektoren in Schichten angeordnet sind, die durch wärmeisolierende Abstandshalter und Vakuum voneinander getrennt sind, dadurch gekennzeichnet, daß Radionuklide geringer Leistungsdichte in einem zweidimensionalen Stabgitter dichtester Packung derart angeordnet sind, daß sich im Gitter ein die Radionuklide enthaltender Stab (2) und ein wärmeleitender Stab (1') abwechseln, und daß die Stäbe (2, 1') in flüssiges Metall (3) eintauchen, das in dem Metallblock vorgesehen ist.

2. Radionuklidbatterie nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß 160 bis 200 Wärmereflektoren vorgesehen sind.

3. Radionuklidbatterie nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Wärmereflektoren aus dünnen reflektierenden Metallfolien (10) bestehen.

4. Radionuklidbatterie nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Abstandshalter aus über die gesamte Foliensfläche verteilten Körnchen oder Fäden (11) sehr geringen Durchmessers bestehen.

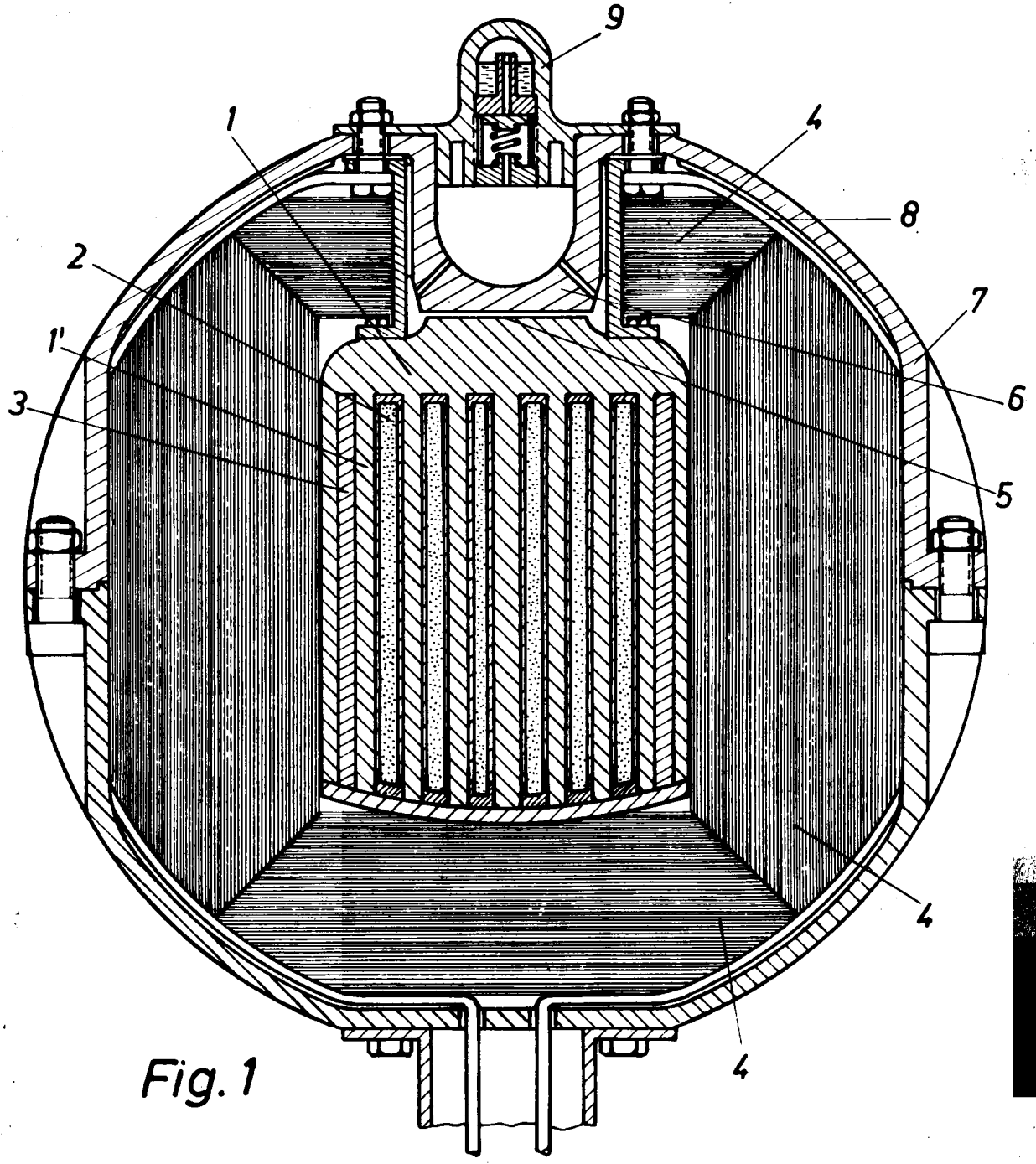


Fig. 1

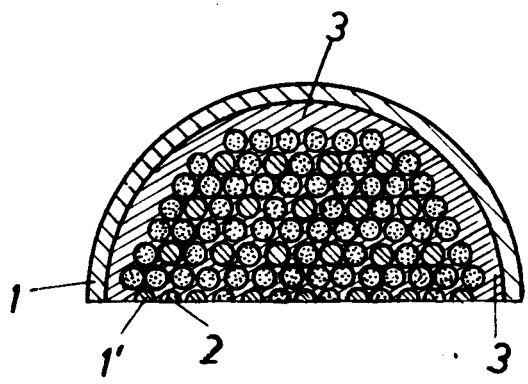


Fig. 2

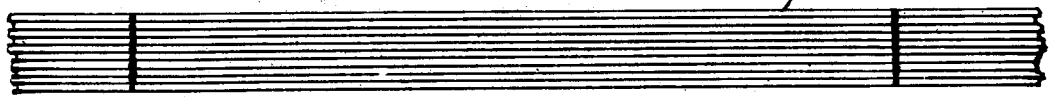
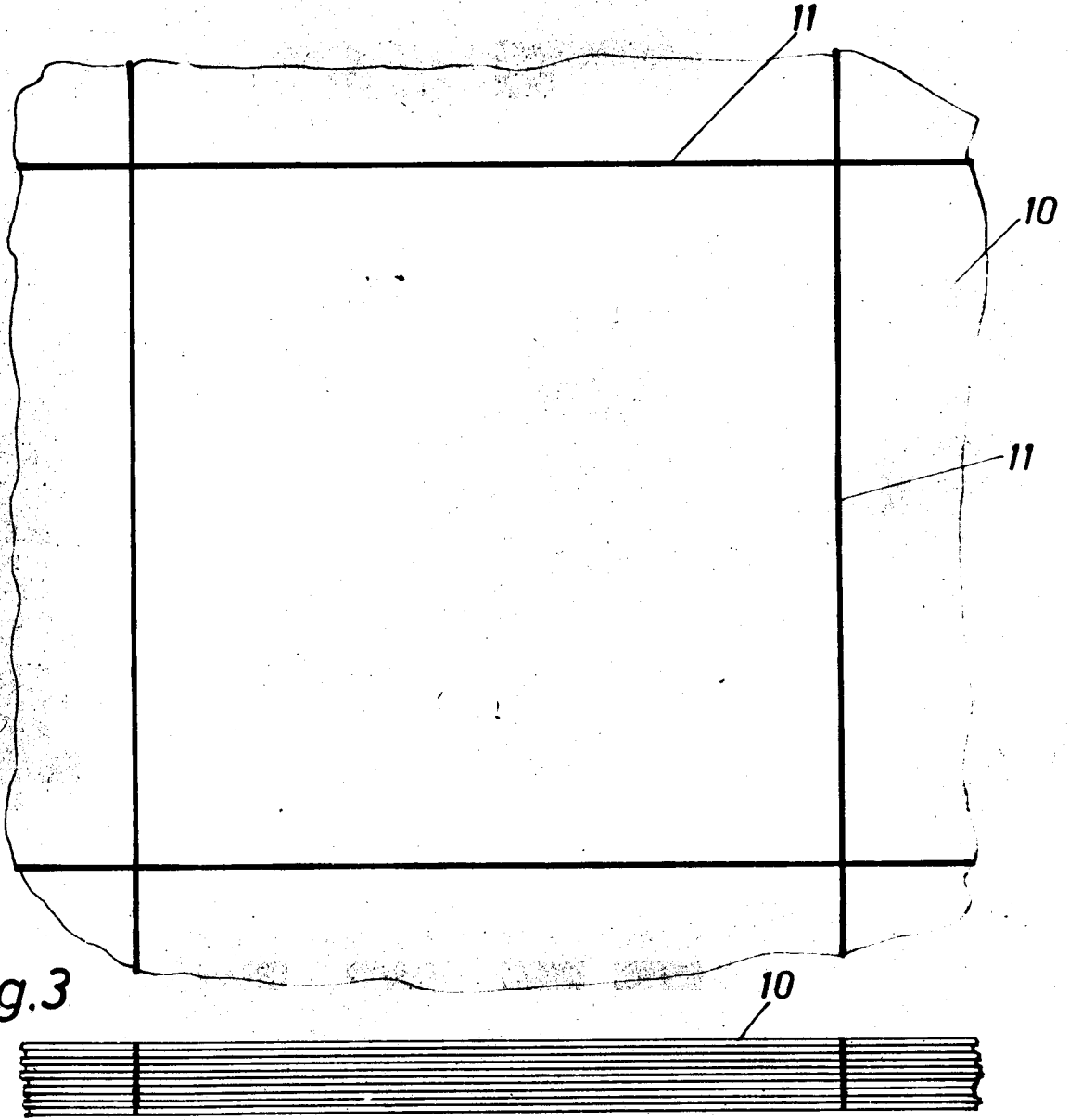


Fig. 4

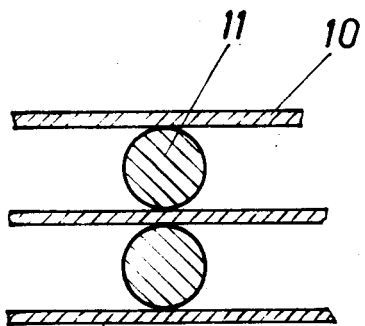


Fig. 5