



(11) **EP 2 617 269 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
29.06.2016 Patentblatt 2016/26

(51) Int Cl.:
H05H 5/02 (2006.01) H05H 5/06 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **11725003.5**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2011/058265

(22) Anmeldetag: **20.05.2011**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2012/034717 (22.03.2012 Gazette 2012/12)

(54) **TEILCHENBESCHLEUNIGER MIT IN DIE BESCHLEUNIGERZELLE INTEGRIERTEM SPANNUNGSVERVIELFACHER**

PARTICLE ACCELERATOR COMPRISING A VOLTAGE MULTIPLIER INTEGRATED INTO THE ACCELERATOR CELL

ACCÉLÉRATEUR DE PARTICULES COMPORTANT UN MULTIPLICATEUR DE TENSION INTÉGRÉ À LA CELLULE D'ACCÉLÉRATION

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR

(30) Priorität: **13.09.2010 DE 102010040615**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
24.07.2013 Patentblatt 2013/30

(73) Patentinhaber: **Siemens Aktiengesellschaft 80333 München (DE)**

(72) Erfinder: **HEID, Oliver 91052 Erlangen (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:
US-A1- 2010 033 115

- **BRAUTTI G ET AL: "Tubeless vacuum insulated Cockcroft-Walton accelerator", NUCLEAR INSTRUMENTS & METHODS IN PHYSICS RESEARCH, SECTION A (ACCELERATORS, SPECTROMETERS, DETECTORS AND ASSOCIATED EQUIPMENT) NETHERLANDS, Bd. A328, Nr. 1-2, 15. April 1993 (1993-04-15), Seiten 59-63, XP002659727, ELECTROSTATIC ACCELERATORS AND ASSOCIATED BOOSTERS: 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE 1-5 JUNE 1992 PADOVA, ITALY ISSN: 0168-9002**

- **BOGGIA A ET AL: "Prototype of a tubeless vacuum insulated accelerator", NUCLEAR INSTRUMENTS & METHODS IN PHYSICS RESEARCH, SECTION A (ACCELERATORS, SPECTROMETERS, DETECTORS AND ASSOCIATED EQUIPMENT) ELSEVIER NETHERLANDS, Bd. 382, Nr. 1-2, 11. November 1996 (1996-11-11), Seiten 73-77, XP002659728, 7TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON HEAVY ION ACCELERATOR TECHNOLOGY 17-22 SEPT. 1995 CANBERRA, ACT, AUSTRALIA ISSN: 0168-9002, DOI: 10.1016/S0168-9002(96)00458-5**
- **PROUDFOOT G ET AL: "A high current tandem accelerator", NUCLEAR INSTRUMENTS & METHODS IN PHYSICS RESEARCH, SECTION A (ACCELERATORS, SPECTROMETERS, DETECTORS AND ASSOCIATED EQUIPMENT) NETHERLANDS, Bd. A328, Nr. 1-2, 15. April 1993 (1993-04-15), Seiten 47-51, XP002659729, ELECTROSTATIC ACCELERATORS AND ASSOCIATED BOOSTERS: 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE 1-5 JUNE 1992 PADOVA, ITALY ISSN: 0168-9002**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

EP 2 617 269 B1

- FARRELL J P ET AL: "A new vacuum insulated tandem accelerator for detection of explosives and special nuclear materials", PROCEEDINGS OF THE SPIE - THE INTERNATIONAL SOCIETY FOR OPTICAL ENGINEERING SPIE-INT. SOC. OPT. ENG. USA, Bd. 5769, Nr. 1, 9. Mai 2005 (2005-05-09), Seiten 1-10, XP002659730, NONDESTRUCTIVE DETECTION AND MEASUREMENT FOR HOMELAND SECURITY 8 MARCH 2005 SAN DIEGO, CA, USA ISSN: 0277-786X, DOI: 10.1117/12.598881

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft einen Teilchenbeschleuniger.

[0002] Teilchenbeschleuniger sind in verschiedenen Bauformen bekannt. Stets weist der Teilchenbeschleuniger eine evakuierte Beschleunigerzelle für einen Teilchenstrahl des Teilchenbeschleunigers auf. Weiterhin weist der Teilchenbeschleuniger stets mindestens eine Elektrodenstruktur auf, an der im Betrieb des Teilchenbeschleunigers eine auf den Teilchenstrahl wirkende Hochspannung anliegt. Weiterhin weist der Teilchenbeschleuniger stets eine Stromversorgungseinrichtung auf, die im Betrieb des Teilchenbeschleunigers die an der Elektrodenstruktur anliegende Hochspannung generiert. Beispielsweise ist der so genannte van de Graaff Beschleuniger so aufgebaut.

[0003] Die Stromversorgungseinrichtung des Teilchenbeschleunigers kann auf verschiedene Weise ausgebildet sein. So ist beispielsweise die Stromversorgungseinrichtung eines van de Graaff Beschleunigers als van de Graaff Generator ausgebildet.

[0004] Eine alternative Ausgestaltung eines Teilchenbeschleunigers ist der sogenannte Cockcroft-Walton Beschleuniger. Der Unterschied zum van de Graaff Beschleuniger besteht in der Ausgestaltung der Stromversorgungseinrichtung. Diese ist beim Cockcroft-Walton Beschleuniger als mit Wechselspannung gespeister Spannungsvervielfacher ausgebildet.

[0005] Die Teilchenbeschleuniger des Standes der Technik weisen verschiedene Nachteile auf. Insbesondere ist die generierbare Hochspannung relativ niedrig, da durch Corona-, Funken- und andere Entladungen die maximal mögliche Spannung begrenzt ist. Weiterhin ist ein erheblicher Aufwand für die Isolierung erforderlich.

[0006] Aus dem Fachaufsatz "Tubeless vacuum insulated Cockcroft-Walton accelerator" von G. Brautti et al., erschienen in Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, A 328 (1993), Seiten 59 bis 63, ist ein Teilchenbeschleuniger wie obenstehend beschrieben bekannt. Bei diesem Teilchenbeschleuniger sind die mindestens eine Elektrodenstruktur und der Spannungsvervielfacher innerhalb der evakuierten Beschleunigerzelle angeordnet.

[0007] Auch aus dem Fachaufsatz "Prototype of a tubeless vacuum insulated accelerator" von A. Boggia et al., erschienen in Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, A 382 (1996), Seiten 73 bis 77, ist ein derartiger Teilchenbeschleuniger bekannt.

[0008] Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, einen Teilchenbeschleuniger der eingangs genannten Art derart weiter zu entwickeln, dass er einfach und kompakt aufgebaut ist und mit einer hohen Spannung betreibbar ist.

[0009] Die Aufgabe wird durch einen Teilchenbeschleuniger mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Teilchenbeschleunigers sind Gegenstand der abhängi-

gen Ansprüche 2 bis 4.

[0010] Erfindungsgemäß ist bei einem Teilchenbeschleuniger der eingangs genannten Art vorgesehen, dass - zusätzlich zur Anordnung der mindestens einen Elektrodenstruktur und des Spannungsvervielfachers innerhalb der evakuierten Beschleunigerzelle - die Wechselspannung zur Speisung des Spannungsvervielfachers innerhalb der Beschleunigerzelle generiert wird.

[0011] Der Spannungsvervielfacher zur Spannungsvervielfachung der Wechselspannung weist eine Anzahl von Kondensatorstufen auf, die über Dioden miteinander verbunden sind. Weiterhin weist auch die Elektrodenstruktur eine Anzahl von Kondensatorflächen auf. Dabei sind die Kondensatorflächen der Elektrodenstruktur mit den Kondensatorstufen des Spannungsvervielfachers identisch. Dadurch ergibt sich eine besonders kompakte Bauweise des Teilchenbeschleunigers.

[0012] Vorteilhafterweise kann der Spannungsvervielfacher als Greinacherschaltung ausgebildet sein.

[0013] Vorzugsweise ist innerhalb der Beschleunigerzelle eine die Wechselspannung generierende Sekundärwicklung eines Transformators angeordnet, die über eine Primärwicklung des Transformators gespeist wird, wobei die Primärwicklung des Transformators außerhalb der Beschleunigerzelle angeordnet ist.

[0014] Weitere Vorteile und Einzelheiten ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen in Verbindung mit den Zeichnungen. Es zeigen in Prinzipdarstellung:

FIG 1 einen Teilchenbeschleuniger,

FIG 2 einen Spannungsvervielfacher,

FIG 3 ein Detail des Teilchenbeschleunigers in einer ersten Ausführungsform und

FIG 4 ein Detail des Teilchenbeschleunigers in einer zweiten Ausführungsform.

[0015] Gemäß FIG 1 weist ein Teilchenbeschleuniger eine Beschleunigungszelle 1 auf. Die Beschleunigungszelle 1 ist evakuiert. Die Beschleunigungszelle 1 dient dazu, eine Umgebung zu schaffen, in der ein Teilchenstrahl 2 "leben" kann, also nicht sofort durch Ionisation von Luftmolekülen oder anderweitige Interaktion mit den Luftmolekülen seine kinetische Energie verliert.

[0016] Der Teilchenbeschleuniger weist weiterhin mindestens eine Elektrodenstruktur 3 auf. An der Elektrodenstruktur 3 liegt im Betrieb des Teilchenbeschleunigers eine Hochspannung an. Dies ist in FIG 1 durch das für elektrische Spannungen übliche Blitzzeichen angedeutet. Die Hochspannung wirkt auf den Teilchenstrahl 2. Beispielsweise kann die Elektrodenstruktur 3 als Beschleunigungselektrode, als Bremsselektrode, als Fokussierungselektrode, als Umlenkelektrode oder anders ausgebildet sein. Die Hochspannung wird im Betrieb des Teilchenbeschleunigers von einer entsprechenden

Stromversorgungseinrichtung 4 generiert. Die Stromversorgungseinrichtung 4 ist detaillierter in FIG 2 dargestellt.

[0017] Gemäß FIG 2 ist die Stromversorgungseinrichtung 4 als Spannungsvervielfacher ausgebildet, der mit Wechselspannung U gespeist wird. Beispielsweise kann die Stromversorgungseinrichtung 4 zur Spannungsvervielfachung eine geeignete Anzahl von Kondensatorstufen 5 aufweisen, die über Dioden 6 miteinander verbunden sind. Derartige Spannungsvervielfacher können beispielsweise als so genannte Greinacherschaltung oder auch Greinacherkaskade ausgebildet sein und bewirken, dass am Ausgang des Spannungsvervielfachers eine Gleichspannung mit einer Amplitude abgreifbar ist, welche ein Vielfaches der Amplitude der Wechselspannung U beträgt.

[0018] Erfindungsgemäß ist gemäß FIG 1 weiterhin vorgesehen, dass die Elektrodenstruktur 3 und die Stromversorgungseinrichtung 4 innerhalb der evakuierten Beschleunigerzelle 1 angeordnet sind. Dadurch ergibt sich ein einfacher und kompakter Aufbau des Teilchenbeschleunigers.

[0019] Die Wechselspannung U kann innerhalb der Beschleunigerzelle 1 generiert werden. Beispielsweise ist es möglich, innerhalb der Beschleunigerzelle 1 eine Sekundärwicklung 10 eines Transformators 8 anzuordnen, der über eine Primärwicklung 9 des Transformators 8 gespeist wird. Die Primärwicklung 9 des Transformators 8 kann in diesem Fall außerhalb der Beschleunigerzelle 1 angeordnet sein (FIG 4). Gemäß FIG 1 wird die Wechselspannung U der Stromversorgungseinrichtung 4 jedoch von außerhalb der Beschleunigerzelle 1 zugeführt.

[0020] In vielen Fällen weist die Elektrodenstruktur 3 eine Anzahl von Kondensatorflächen 7 auf. Die Kondensatorflächen 7 können beispielsweise, wie in FIG 3 dargestellt, in Form von konzentrischen Ringen angeordnet sein, wobei der Teilchenstrahl 2 entlang der Symmetrieachse der Ringe 7 beschleunigbar ist. Hier sind jedoch auch andere Ausgestaltungen möglich. Falls die Anzahl von Kondensatorflächen 7 vorhanden ist, können die Kondensatorflächen 7 der Elektrodenstruktur 3 mit den Kondensatorstufen 5 des Spannungsvervielfachers 4 identisch sein.

[0021] Wie ebenfalls der FIG 3 zu entnehmen ist, sind die Dioden 6 der Stromversorgungseinrichtung 4 zur Spannungsvervielfachung ebenfalls in die Beschleunigerzelle 1 integriert und verbinden wie im Zusammenhang mit der FIG 2 beschrieben die Kondensatorflächen 7 der Elektrodenstruktur 3 miteinander, um sie auf von außen nach innen ansteigende Potentialstufen zu bringen, so dass letztlich die innere Elektrode auf dem höchsten Potential liegt.

[0022] Die vorliegende Erfindung weist viele Vorteile auf. Insbesondere ist der erfindungsgemäße Teilchenbeschleuniger kompakt realisierbar und arbeitet zuverlässig. Die mögliche Hochspannung ist gegenüber einem konventionellen Teilchenbeschleuniger deutlich erhöht. Weiterhin ist es möglich, die Anzahl an benötigten Bau-

teilen zu reduzieren.

[0023] Die obige Beschreibung dient ausschließlich der Erläuterung der vorliegenden Erfindung. Der Schutzzumfang der vorliegenden Erfindung soll hingegen ausschließlich durch die beigefügten Ansprüche bestimmt sein.

[0024] Grundsätzlich kann der Teilchenbeschleuniger mit nur einer einzigen derartigen Beschleunigerzelle betrieben werden. Die einzelne Beschleunigerzelle stellt also für sich schon einen Teilchenbeschleuniger dar.

Patentansprüche

1. Teilchenbeschleuniger,

- wobei der Teilchenbeschleuniger eine evakuierte Beschleunigerzelle (1) für einen Teilchenstrahl (2) des Teilchenbeschleunigers aufweist,
- wobei der Teilchenbeschleuniger mindestens eine Elektrodenstruktur (3) aufweist, an der im Betrieb des Teilchenbeschleunigers eine auf den Teilchenstrahl (2) wirkende Hochspannung anliegt,
- wobei der Teilchenbeschleuniger einen mit Wechselspannung (U) gespeisten Spannungsvervielfacher (4) aufweist, der im Betrieb des Teilchenbeschleunigers die an der Elektrodenstruktur (3) anliegende Hochspannung generiert,
- wobei die mindestens eine Elektrodenstruktur (3) und der Spannungsvervielfacher (4) innerhalb der evakuierten Beschleunigerzelle (1) angeordnet sind,

dadurch gekennzeichnet,

dass die Wechselspannung (U) zur Speisung des Spannungsvervielfachers (4) innerhalb der Beschleunigerzelle (1) generiert wird.

2. Teilchenbeschleuniger nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass

- der Spannungsvervielfacher (4) zur Spannungsvervielfachung der Wechselspannung (U) eine Anzahl von Kondensatorstufen (5) aufweist, die über Dioden (6) miteinander verbunden sind, und
- die Elektrodenstruktur (3) eine Anzahl von Kondensatorflächen (7) aufweist,

wobei die Kondensatorflächen (7) der Elektrodenstruktur (3) mit den Kondensatorstufen (5) des Spannungsvervielfachers (4) identisch sind.

3. Teilchenbeschleuniger nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Spannungsvervielfacher (4) als Greinacherschaltung ausgebildet

ist.

4. Teilchenbeschleuniger nach Anspruch 1, 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** innerhalb der Beschleunigerzelle (1) eine die Wechselspannung (U) generierende Sekundärwicklung (10) eines Transformators (8) angeordnet ist, die über eine Primärwicklung (9) des Transformators (8) gespeist wird, wobei die Primärwicklung (9) des Transformators (8) außerhalb der Beschleunigerzelle (1) angeordnet ist.

Claims

1. Particle accelerator,

- wherein the particle accelerator has an evacuated accelerator cell (1) for a particle beam (2) of the particle accelerator,
- wherein the particle accelerator has at least one electrode structure (3), at which a high voltage acting on the particle beam (2) is present during operation of the particle accelerator,
- wherein the particle accelerator has a voltage multiplier (4), to which AC voltage (U) is supplied and which generates the high voltage present at the electrode structure (3) during operation of the particle accelerator,
- wherein the at least one electrode structure (3) and the voltage multiplier (4) are arranged within the evacuated accelerator cell (1),

characterized

in that the AC voltage (U) for supplying the voltage multiplier (4) is generated within the accelerator cell (1).

2. Particle accelerator according to Claim 1, **characterized in that**

- the voltage multiplier (4) for voltage multiplication of the AC voltage (U) has a number of capacitor stages (5) which are connected to one another via diodes (6), and
- the electrode structure (3) has a number of capacitor surfaces (7),

wherein the capacitor surfaces (7) of the electrode structure (3) are identical to the capacitor stages (5) of the voltage multiplier (4).

3. Particle accelerator according to Claim 1 or 2, **characterized in that** the voltage multiplier (4) is configured as a Greinacher circuit.

4. Particle accelerator according to Claim 1, 2 or 3, **characterized in that** arranged within the accel-

ator cell (1) is a secondary winding (10) of a transformer (8), which generates the AC voltage (U) and is supplied via a primary winding (9) of the transformer (8), wherein the primary winding (9) of the transformer (8) is arranged outside the accelerator cell (1).

Revendications

1. Accélérateur de particules,

- dans lequel l'accélérateur de particules présente une cellule d'accélération (1) sous vide pour un faisceau de particules (2) de l'accélérateur de particules,
- dans lequel l'accélérateur de particules présente au moins une structure à électrodes (3), au niveau de laquelle pendant le fonctionnement de l'accélérateur de particules est appliquée une haute tension qui agit sur le faisceau de particules (2),
- dans lequel l'accélérateur de particules présente un multiplicateur de tension (4) alimenté en tension alternative (U), qui génère pendant le fonctionnement de l'accélérateur de particules la haute tension qui est appliquée au niveau de la structure à électrodes (3),
- dans lequel l'au moins une structure à électrodes (3) et le multiplicateur de tension (4) sont disposés à l'intérieur de la cellule d'accélération (1) sous vide, **caractérisé en ce que**

la tension alternative (U) pour l'alimentation du multiplicateur de tension (4) est générée à l'intérieur de la cellule d'accélération (1).

2. Accélérateur de particules selon la revendication 1, **caractérisé en ce que**

- le multiplicateur de tension (4) présente pour la multiplication de tension de la tension alternative (U) une pluralité d'étages de condensateur (5) qui sont reliés entre eux par le biais de diodes (6), et
- la structure à électrodes (3) présente une pluralité de surfaces de condensateur (7), dans lequel les surfaces de condensateur (7) de la structure à électrodes (3) sont identiques aux étages de condensateur (5) du multiplicateur de tension (4).

3. Accélérateur de particules selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que** le multiplicateur de tension (4) est configuré en tant que montage de Greinacher.

4. Accélérateur de particules selon la revendication 1, 2 ou 3, **caractérisé en ce que**, à l'intérieur de la

cellule d'accélération (1), est disposé un enroulement secondaire (10), générant la tension alternative (U), d'un transformateur (8), lequel enroulement est alimenté par le biais d'un enroulement primaire (9) du transformateur (8), dans lequel l'enroulement primaire (9) du transformateur (8) est disposé à l'extérieur de la cellule d'accélération (1).

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

FIG 1

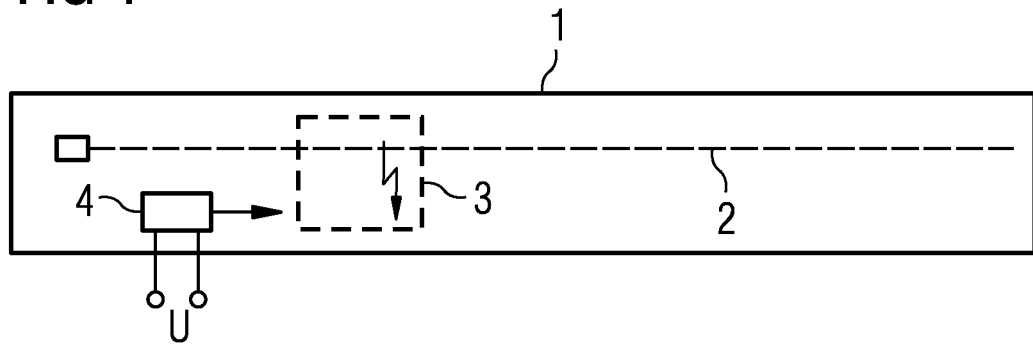


FIG 2

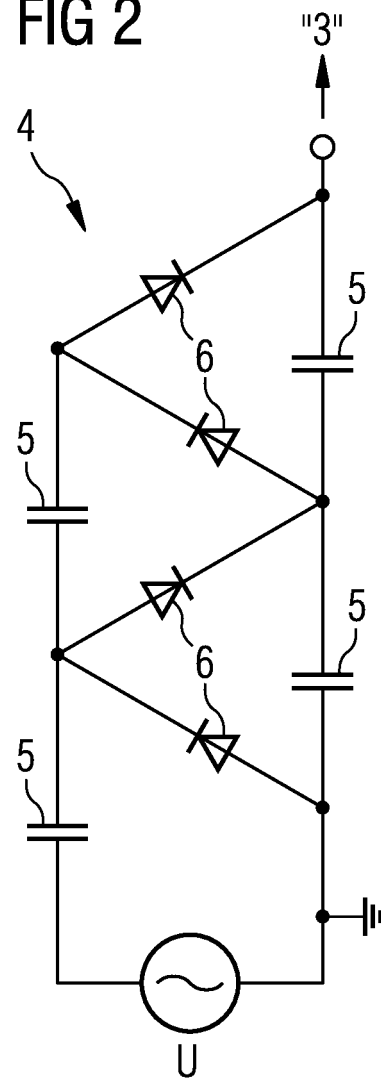


FIG 3

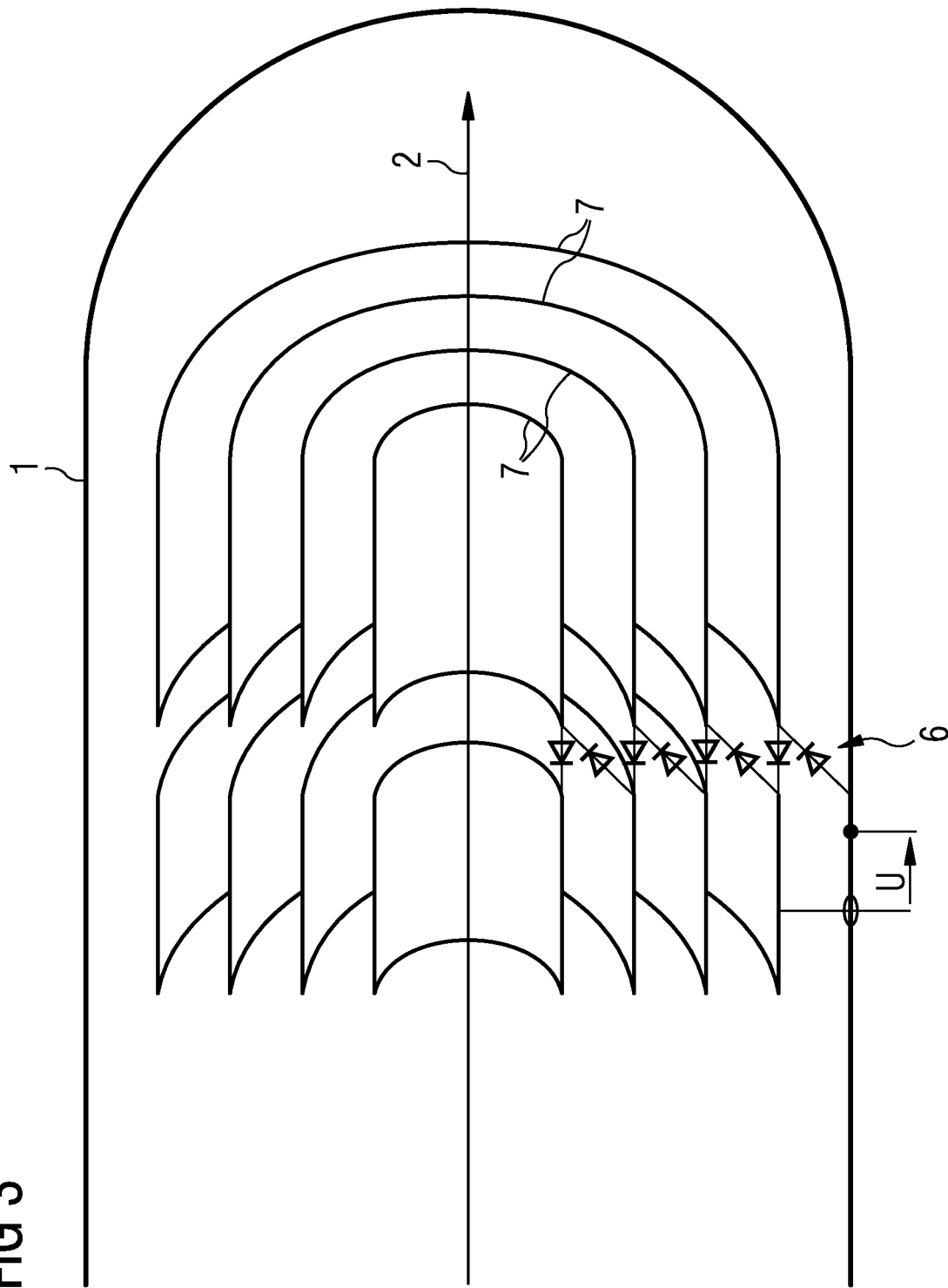
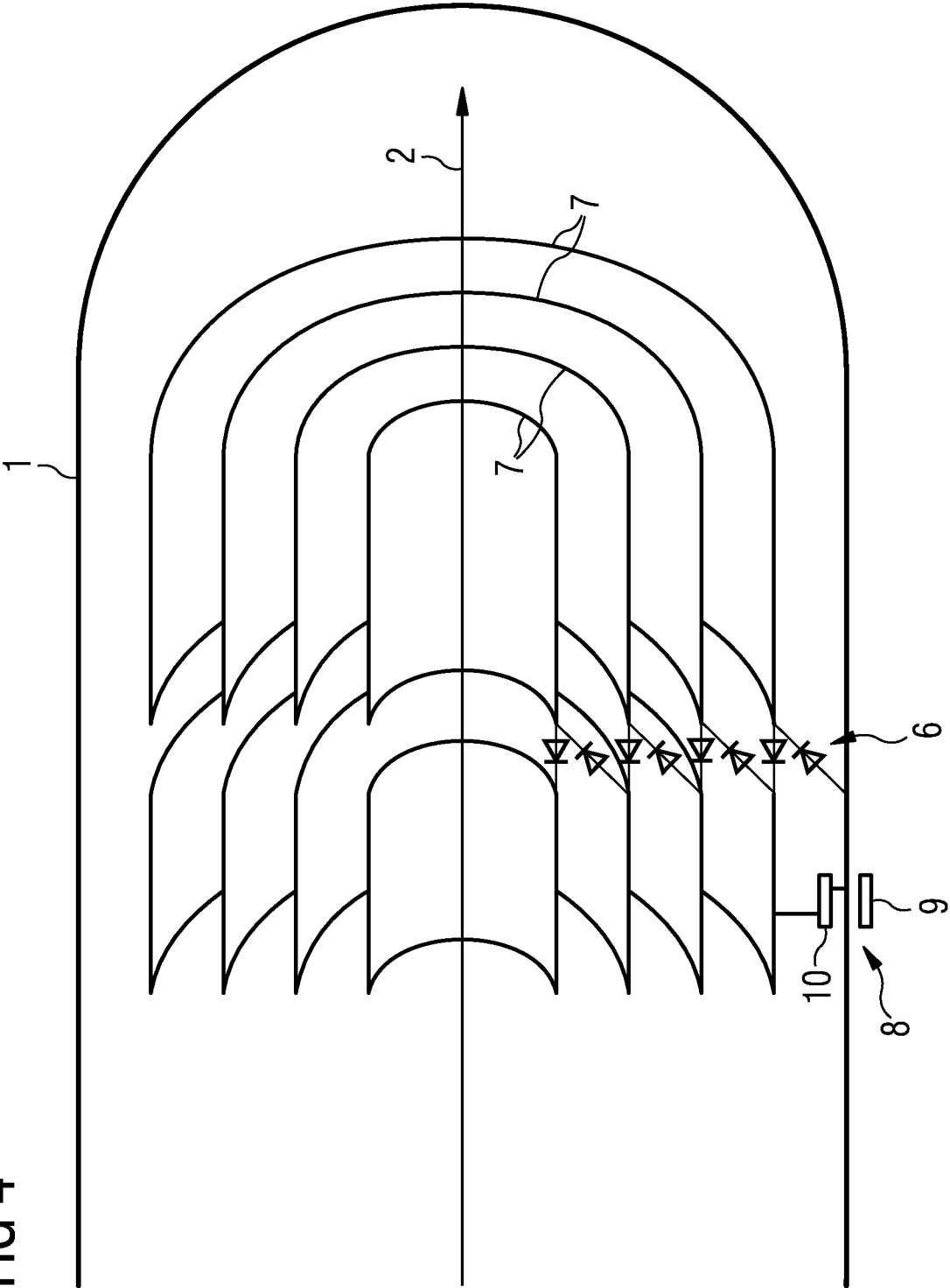


FIG 4



IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- **BRAUTTI et al.** *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, 1993, vol. 328, 59-63 [0006]
- **A. BOGGIA et al.** Prototype of a tubeless vacuum insulated accelerator. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, 1996, vol. 382, 73-77 [0007]