



(11) **EP 1 203 395 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
15.07.2009 Patentblatt 2009/29

(51) Int Cl.:
H01J 25/04^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **01971769.3**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2001/008413

(22) Anmeldetag: **20.07.2001**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2002/015218 (21.02.2002 Gazette 2002/08)

(54) **VORRICHTUNG UND VERFAHREN ZUR IONENSTRAHLBESCHLEUNIGUNG UND ZUR ELEKTRONENSTRAHLIMPULSFORMUNG UND -VERSTÄRKUNG**

DEVICE AND METHOD FOR ION BEAM ACCELERATION AND ELECTRON BEAM PULSE FORMATION AND AMPLIFICATION

PROCEDE ET DISPOSITIF D'ACCELERATION DE FAISCEAU IONIQUE ET DE FORMATION ET D'AMPLIFICATION D'IMPULSION DE FAISCEAU ELECTRONIQUE

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU MC NL PT SE TR

(74) Vertreter: **Boeters, Hans Dietrich et al**
BOETERS & LIECK
Oberanger 32
80331 München (DE)

(30) Priorität: **17.08.2000 DE 10040719**
18.08.2000 DE 10040896

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A- 0 587 481 **US-A- 5 497 053**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
08.05.2002 Patentblatt 2002/19

(73) Patentinhaber: **Gesellschaft für Schwerionenforschung mbH**
64291 Darmstadt (DE)

- **PATENT ABSTRACTS OF JAPAN** vol. 007, no. 123 (E-178), 27. Mai 1983 (1983-05-27) & JP 58 042141 A (NIPPON DENKI KK), 11. März 1983 (1983-03-11)
- **DATABASE WPI** Section EI, Week 198135 Derwent Publications Ltd., London, GB; Class V05, AN 1981-J1141D XP002185134 & SU 777 754 A (RYAZAN WIRELESS ENG INST), 4. Januar 1980 (1980-01-04)
- **LORING C JR ET AL**: "The Klystrode, a new high efficiency, high power electron tube for UHF industrial applications" **JOURNAL OF MICROWAVE POWER AND ELECTROMAGNETIC ENERGY**, 1993, USA, Bd. 28, Nr. 3, Seiten 174-182, XP001039895 ISSN: 0832-7823

(72) Erfinder:

- **RATZINGER, Ulrich**
64331 Weiterstadt (DE)
- **MINAEV, Serguej**
123458 Moskau (RU)
- **SETZER, Stefan**
64331 Weiterstadt-Schneppenhausen (DE)

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 1 203 395 B1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Ionenstrahlbeschleunigung und zur Elektronenstrahlimpulsformung und -verstärkung gemäß den unabhängigen Ansprüchen.

[0002] Für eine Ionenstrahlbeschleunigung von Schwerionen wie Kohlenstoffionen, Sauerstoffionen und dergleichen in Linearbeschleunigern und Cyclotronbeschleunigern werden Leistungen im Bereich von mehreren Megawatt bei Frequenzen um 300 MHz benötigt. Für derart hohe Leistungen und bei derartigen Frequenzen versagen die konventionellen Hochfrequenzleistungsverstärker wie Topfkreisverstärker, die im allgemeinen in einem Frequenzbereich von 50 bis 200 MHz und in einem Leistungsspektrum bis zu 50 kW einsetzbar sind. Für höhere Frequenzen und höhere Leistungen bietet sich das Prinzip der Klystron-Leistungsverstärkung an, das sich im Frequenzbereich von 350 MHz bis 20 GHz durchgesetzt hat. Dabei handelt es sich wie bei Wanderfeldröhren um eine lineare Anordnung, wobei ein aus einer Elektronenkanone austretender Strahl mittels longitudinaler Geschwindigkeitsmodulation in Elektronenpakete gegliedert wird. Diese Mikrostruktur des Strahls wird in sogenannten Buncher-Kavitäten mittels gerichteter longitudinaler hochfrequenter elektrischer Felder erzeugt. Der derart strukturierte Elektronenstrahl erzeugt dann in der Ausgangskavität oder dem Ausgangskreis die gewünschte Hochfrequenzleistung. Nach Abzug dieser Hochfrequenzleistung wird seine Restenergie schließlich in einem Kollektor deponiert oder abgeleitet. Leistungsklystrons mit Betriebsfrequenzen von 200 MHz haben bereits eine Baulänge von 5 m. Für Betriebsfrequenzen darunter werden die Baulängen unhandlich und die Geräte unförmig und beanspruchen einen Raumbedarf, der mit erheblichen Kosten verbunden ist. Eine wesentliche Ursache für diesen enormen Raumbedarf liegt in der Formierung der Elektronenstrahlimpulse bzw. der Elektronenpakete in der Röhre, wozu langgestreckte, mehrere hundert Zentimeter lange Driftstrecken benötigt werden. Für wesentlich tiefere Frequenzen, wie unter 200 MHz, wird deshalb auf die Topfkreisverstärker in Form von Leistungsrohren zurückgegriffen, jedoch für den Frequenzbereich zwischen 200 und 350 MHz gibt es bisher keine wirtschaftliche Lösungen, die einen hohen Leistungspegel von mehreren Megawatt und eine entsprechende Betriebsfrequenz zulassen.

[0003] In den letzten Jahren hat sich ein Konzept durchgesetzt, das sich Klystrodenprinzip nennt. Bei diesem Prinzip handelt es sich um eine Kombination von Elementen des röhrengetriebenen Verstärkers und des Klystrons. Die Elektronenimpulse werden dabei mittels eines Steuergitters erzeugt und der gepulste Elektronenstrahl durchläuft dann nacheinander eine Ausgangskavität und einen Kollektor. Zwar kann diese Anordnung sehr kompakt gebaut werden, aber, soweit sich dieses Konzept durchgesetzt hat, wird es für Fernsehsender eingesetzt mit einer relativ geringen Sendeleistung von

maximal 60 kW im UHF-Band, so daß diese Lösung in Konkurrenz zu den standardmäßigen Topfkreisverstärkern einsetzbar ist, jedoch nicht die hohen Leistungen bringt, die für eine Ionenstrahlbeschleunigung erforderlich sind.

[0004] Das Klystrodenprinzip ist aus der Patentschrift EP-A-o 587481 (THOMSON TUBES ELEKTRONICS), 5. März 1994, aus der US-Patentschrift US-A5 497 053 (SWYDEN THOMAS ET AL) 5. März 1996, aus der Patenzusammenfassung PATENT ABSTRACTS OF JAPAN 11. März 1983, aus der Veröffentlichung DATABASE WPI Section EI, Week 198135, Derwent Publications Ltd, London GB Class V05, AN 1981-j1141D XP002185134 & SU 777 754 A (RYAZA WIRELESS INST), 4. Januar 1980 und aus dem Dokument LORING C JR ET AL 2The Klysterode, a new high power electron tube for UHF industrial application"JOURNAL OF MICROWAVE POWER AND ELECTROMAGNETIC ENERGY", 1993 USA, BD 28 Nr. 3, Seiten 174-182 XP 001039895), bekannt.

[0005] Leistungsklystrons, die durchaus in der Lage wären, mehrere Megawattverstärkung zu liefern, verlieren jedoch bei Frequenzen von 100 MHz bis 400 MHz wegen des technischen Aufwands und besonders wegen ihrer Baugröße bei diesen tiefen Frequenzen ihre sonst vorhandenen Vorteile. Andererseits sind Klystroden, wie sie oben erwähnt werden, aufgrund der Verwendung eines Steuergitters bezüglich der maximal erzielbaren Hochfrequenzleistung sowie bezüglich der erzielbaren Wartungsintervalle äußerst begrenzt einsetzbar. Leistungsrohren wie die Topfkreisverstärker bleiben im betrachteten Frequenzbereich deutlich unter 1 MW Ausgangsleistung im Dauerbetrieb, und bei gepulstem Betrieb fällt die Maximalleistung von etwa 3 MW im unteren Frequenzbereich auf unter 1 MW im oberen Frequenzbereich ab, so daß auch diese für mehrere Megawatt nicht verwendet werden können. Der Gesamtwirkungsgrad fällt bei diesen Leistungsrohren auch dadurch ab, daß die Kathodenheizleistung von typisch 10 kW bei den erforderlichen Pulswiederholraten zur Verstärkung von Ionenstrahlimpulsen von mehreren Hertz bis zu 50 Hz kontinuierlich aufzubringen ist.

[0006] Aufgabe der Erfindung ist es deshalb, einen leistungsstarken Hochfrequenzverstärker im Frequenzbereich von 100 MHz bis etwa 400 MHz anzugeben, der im gepulsten Betrieb mit einer 1 ms Pulslänge und einer Wiederholrate von kleiner gleich 50 Hz Senderleistungen bis zu 10 MW erreicht. Darüber hinaus ist es Aufgabe der Erfindung, eine technische Lösung anzugeben, welche die aktuelle kritische Situation bei der Produktion von Hochfrequenzleistungsrohren überwindet, die darin liegt, daß immer weniger Anbieter derartige Leistungsrohren produzieren, so daß neben den oben genannten Einschränkungen dieses Verstärkertyps auch die Versorgungslage langfristig nicht gesichert erscheint.

[0007] Gelöst wird diese Aufgabe mit den unabhängigen Ansprüchen, vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

[0008] Erfindungsgemäß wird eine Vorrichtung zur Elektronenstrahlimpulsformung und -verstärkung angegeben, die eine Elektronenkanone, einen Hochfrequenzdeflektor, einen Gleichspannungsdeflektor, einen Kollektor mit Gegenfeld, einen Nachbeschleuniger, einen Leistungskoppler zur Ankopplung der Leistung des Elektronenstrahls an einen Verbraucher und einen Hauptkollektor zur Aufnahme der Restleistung des Elektronenstrahls aufweist. Dazu sind die oben aufgelisteten Vorrichtungen nacheinander in Richtung des Elektronenstrahls angeordnet.

[0009] Die Elektronenstrahlkanone erzeugt zunächst einen kontinuierlichen Elektronenstrahl, der in dem Hochfrequenzdeflektor, angeregt durch ein hochfrequentes Anregungssignal abgelenkt wird, so daß nur im Bereich der Nulldurchgänge dieses Signals der Elektronenstrahl periodisch in der Ionenstrahlachse weitergegeben werden kann. Durch den sich anschließenden Gleichspannungsdeflektor wird dieser Effekt verstärkt und der Anteil des abgelenkten Elektronenstrahls wird in einem Kollektor mit Gegenfeld gesammelt und dieser Strom zu der Kathode der Elektronenkanone zurückgekoppelt. Der in dieser Weise in Elektronenpakete aufgegliederte Elektronenstrahl wird in einem Nachbeschleuniger beschleunigt und einem Leistungskoppler zugeführt, der die Leistung des Elektronenstrahls an einen Verbrauchers ankoppeln kann. Die verbleibende nicht ausgekoppelte Restleistung des Elektronenstrahl wird einem Hauptkollektor zugeführt. Somit werden in vorteilhafter Weise statt der beim Klystron verwendeten longitudinalen Geschwindigkeitsmodulation bei der vorliegenden Erfindung transversale hochfrequente elektrische Felder im Hochfrequenzdeflektor und transversalgerichtete statische elektrische Felder im Gleichspannungsdeflektor verwendet, um Elektronenimpulse zu formen und vorzuverstärken.

[0010] Innerhalb einer Hochfrequenzperiode werden somit etwa 80 % des kontinuierlich angelieferten Elektronenstrahls abgelenkt und in einem negativ vorgespannten Kollektor mit Gegenspannung aufgefangen. Die auf der Strahlachse weiterlaufenden verbleibenden Elektronenstrahlimpulse in Form von Elektronenpaketen durchlaufen dann die Hauptbeschleunigung mit mehreren hundert Kilovolt und erreichen derart beschleunigt die Ausgangskavität des Leistungskopplers, der die Leistung des Elektronenstrahls an einen Verbraucher ankoppelt. Die nicht ausgekoppelte Restleistung wird im Hauptkollektor gesammelt. Die reine Elektronenstrahlimpulsformierung kann bei diesem Konzept in einem Frequenzbereich zwischen 100 und 400 MHz innerhalb einer Baulänge von nur 0,5 m untergebracht werden. Dieses ist eine Verbesserung durch Verringerung der Baulänge um mehr als das Zehnfache, zumal ein Klystron für 350 MHz bei der geforderten Leistungsaufnahme bereits 5 m lang ist. Somit entfällt ein wesentlicher Hinderungsgrund, für tiefe Frequenzen das Klystron anzuwenden. Bei der erfindungsgemäßen Lösung wird der Wirkungsgrad des Klystrons für die Erzeugung von

Hochfrequenzleistungen auf wesentlich kürzerer Baulänge erreicht.

[0011] In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist der Verbraucher eine Antenne eines Koaxialkabelendes, die in einen Resonator, der über einen den Elektronenstrahl umgebenden Ringspalt mit dem Elektronenstrahl gekoppelt ist, hineinragt. Diese Ausführungsform entzieht mit seiner Antenne einen wesentlichen Anteil der Resonanzenergie aus dem Resonator, und damit werden die Elektronen im Elektronenstrahl gebremst, so daß nur noch eine geringe verbleibende nicht ausgekoppelte Restleistung im Hauptkollektor gesammelt werden muß.

[0012] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist der Verbraucher ein Antennenkoppler eines Hohlleiters, der als koaxiale Durchführung durch die Wandung des Resonatorraumes ausgeführt ist. Dazu ragt der Antennenkoppler in den Resonatorraum hinein, der den Elektronenstrahl mit einem Ringspalt umgibt, so daß Energie aus dem Elektronenstrahl in den Resonator gekoppelt werden kann und über die Antennenkopplerdurchführung dann weiter an den Hohlleiter abgeleitet wird.

[0013] In einer weiteren bevorzugten Durchführung der Erfindung ist der Verbraucher ein Kopplungsfenster zu einem Hohlleiter, wobei das Kopplungsfenster sich zu dem Resonator hin öffnet. Auch in dieser Ausführungsform ist der Elektronenstrahl von dem Resonator mit einem Ringspalt umgeben.

[0014] Eine weitere erfindungsgemäße Lösung besteht in einer Vorrichtung zur Ionenstrahlbeschleunigung, die einen Ionenbeschleunigertank mit zentraler Behälterachse zur Führung und Beschleunigung eines gepulsten Ionenstrahl aus Schwerionen in der Behälterachse umfaßt. Diese Vorrichtung weist darüber hinaus eine Elektronenstrahlimpulsformungs- und -verstärkungseinrichtung mit Elektronenstrahlachse zur Mikrostrukturierung und Verstärker von Stromimpulsen für die Versorgung der Vorrichtung zur Ionenstrahlbeschleunigung mit Hochfrequenzleistung auf.

[0015] Diese Lösung ist **dadurch gekennzeichnet, daß** die Elektronenstrahlimpulsformungs- und -verstärkungseinrichtung mit ihrer Elektronenstrahlachse quer und versetzt zur Behälterachse angeordnet ist und außerhalb des Ionenbeschleunigertanks eine Elektronenkanone, einen Hochfrequenzdeflektor, einen Gleichspannungsdeflektor, einen Kollektor mit Gegenfeld und einen Nachbeschleuniger aufweist, während innerhalb des Ionenbeschleunigertanks die Vorrichtung einen Leistungskoppler zur Ankopplung der Leistung des Elektronenstrahls an einen Verbraucher und einen Hauptkollektor zur Aufnahme der Restleistung des Elektronenstrahls besitzt. Die aufgeführten Vorrichtungskomponenten der Elektronenstrahlimpulsformungs- und -verstärkungseinrichtung sind hintereinander in Richtung des Elektronenstrahls angeordnet.

[0016] Diese Lösung hat den Vorteil, daß der Ionenbeschleunigertank selbst gleichzeitig als Ausgangskreis

für die Leistungsverstärkungsstufe verwendet wird. Ein Leistungstransport vom Verstärker zum Tank entfällt. Eine Ankopplung der Leistungsstufe an das Tankvolumen ist damit möglich. Damit wird ein Aufbau zur Ionenstrahlbeschleunigung für Ionenstrahlen für Schwerionen erreicht, der äußerst überschaubar und äußerst kostengünstig hergestellt werden kann.

[0017] Zur Kopplung zwischen treibendem Elektronenstrahl und Ionenbeschleunigertank wird eine im Potential passende Stelle entlang der Driftröhrenhalterung des Ionenstrahls eingesetzt. Ein transversales elektrisches Wechselfeld mit geeigneter Zeitstruktur lenkt dabei unmittelbar nach der Vorbeschleunigung des Elektronenstrahls zeitlich ungünstig liegende Elektronen ab, so daß nur Elektronenimpulse mit der gewünschten Frequenz zur Verstärkung der Ionenstrahlimpulse die Hauptbeschleunigung durchlaufen und anschließend im Feld des Ionenbeschleunigertanks abgebremst werden, weil ihre Energie an den Ionenstrahl angekoppelt ist.

[0018] Somit ist in einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung der Verbraucher unmittelbar der gepulste Ionenstrahl.

[0019] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung weist der Leistungskoppler einen Resonator mit einem den Elektronenstrahl radial umgebenden oberen Ringspalt und einem den Elektronenstrahl radial umgebenden unteren Ringspalt im Ionenbeschleunigertank auf. Ein Durchlaufen des Elektronenstrahls von zwei Ringspalten, nämlich einem oberen und einem unteren Ringspalt im Tank erscheint vorteilhaft, da der Elektronenstrahl den gekühlten Aufhänger erreichen muß, um seine Restenergie in dem Hauptkollektor abzugeben. Dazu wird vorteilhaft die Driftstrecke zwischen den Spalten möglichst kurz gehalten, um eine günstige Geometrie zu erreichen, welche die Spannungsverteilung über dem Driftröhrenfuß nicht wesentlich beeinträchtigt. Außerdem geben in vorteilhafter Weise die Elektronen unabhängig von ihrer Phasenlage im Impuls beim Durchlaufen der beiden Ringspalte die gleiche Energie an den Ionenstrahl ab, so daß die Restenergie in dem Hauptkollektor oder Auffänger kleiner als 10 % der Impulsenergie ist.

[0020] Um derart angepaßte Ringspalte in dem Ionenbeschleunigertank anzuordnen, weist der Leistungskoppler darüber hinaus zwischen den Ringspalten eine Kopplungsstufe auf, die koaxial den Elektronenstrahl umgibt und radial versetzt und transversal zum Ionenstrahl innerhalb des Ionenbeschleunigertanks angeordnet ist, wobei die Kopplungsstufe an einer Driftröhrenhalterung des Ionenstrahls befestigt ist.

[0021] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist die Elektronenstrahlkanone eine Piercetypp-Elektronenstrahlkanone. Mit einer derartigen Kanone wird in vorteilhafter Weise ein hochperveanter Elektronenstrahl mit entsprechend hoher Raumladungskonstanten gemäß der Child-Langmuir-Gleichung bei Impulslängen von 1 ms erzeugt, der einen Strahlstrom von beispielsweise 40 A bei einer Beschleunigungsspan-

nung von 40 kV erreicht.

[0022] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform weist der Hochfrequenzdeflektor ein homogenes transversal gerichtetes Wechselfeld auf, mit dem kurze Elektronenstrahlpakete im Bereich der Betriebsfrequenz von 100 bis 400 MHz geschaffen werden, während der Elektronenstrahl in den Impulspausen abgelenkt wird und einem Kollektor mit Gegenfeld zugeführt wird, der seinerseits den Strom der Kathode der Elektronenstrahlkanone zur Verfügung stellt.

[0023] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung weist der Gleichspannungsdeflektor ein inhomogenes, zeitlich konstantes transversales elektrisches Feld auf, während der Elektronenstrahl mittels eines longitudinalen Magnetfeldes gleichzeitig transversal stabilisiert wird, so daß die Brillouin-Gleichgewichtsbedingung erfüllt bleibt.

[0024] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform weist der Leistungskoppler in seinem Ausgangskreis einen Resonator auf, der über einen Ringspalt mit dem Elektronenstrahl kommuniziert. Dem Resonator kann wiederum die Energie durch einen Verbraucher, der über eine Koaxialleitung, einen Hohlleiter oder unmittelbar angekoppelt ist, wie im Falle des Ionenstrahls, entzogen werden, so daß die Elektronenpakete im Elektronenstrahl abgebremst werden und nur noch mit geringer Energie, die teilweise unter 10 % der Gesamtelektronenstrahlenergie liegt, in dem Hauptkollektor gesammelt werden müssen.

[0025] Neben der für die unmittelbare Ankopplung an einen Ionenstrahlverbraucher gefundenen Lösung weist der Ausgangskreis auch eine einspaltige ringförmige Kavität als Resonator auf, wobei die Kavität den Ionenstrahl umgibt. Mit dieser Lösung ist es möglich, beliebige Verbraucher über Koaxialkabel oder Hohlleiter an die erfindungsgemäße leistungsverstärkende Vorrichtung anzuschließen.

[0026] Die Pulslänge und die Wiederholungsrate des Elektronenstrahls, die sogenannte Makrostruktur, sind bei der erfindungsgemäßen Lösung frei wählbar, so daß Impulslängen von einer Millisekunde bei Wiederholfrequenzen von unter 50 Hz und einer Leistung von 10 MW mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung und dem erfindungsgemäßen Verfahren verwirklicht werden können.

[0027] Da ein schmalbandiger HF-Resonator, wie er in den bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung als ringförmige Kavität mit Ringspalt angegeben ist, erst dann mit einem Elektronenstrahl wirkungsvoll angeregt werden kann, wenn der Strahl eine Intensitätsmodulation bei der entsprechenden Betriebsfrequenz aufweist, wird diese sogenannte Mikrostruktur des Elektronenstrahls mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens erzeugt. Dieses erfindungsgemäße Verfahren zur Elektronenstrahlimpulsformung und -verstärkung weist folgende Verfahrensschritte auf:

Erzeugen eines Elektronenstrahls mittels einer Elektronenstrahlkanone;

Beaufschlagen des Elektronenstrahls mit einem transversalen hochfrequenten Wechselfeld unter gleichzeitig hochfrequenter Auslenkung des Elektronenstrahls;

Hochfrequentes Ausblenden von bis zu 80 % der Elektronenstrahlenergie zu einem Kollektor mit Gegenfeld mittels eines Hochfrequenzdeflektors und eines Gleichspannungsdeflektors;

Nachbeschleunigen des hochfrequenzmodulierten Elektronenstrahls zu verstärkten Elektronenstrahlimpulsen;

Auskoppeln der Hochfrequenzenergie über einen Leistungskoppler.

[0028] Somit durchläuft der Strahl zunächst ein homogenes transversal gerichtetes elektrisches Wechselfeld, danach ein inhomogenes zeitlich konstantes transversales elektrisches Feld. Dabei werden etwa 80 % des Elektronenstrahls von der Strahlachse abgelenkt und bei nahezu konstanter Elektronenenergie von 40 keV in einem vorgespannten Kollektor mit z.B. $U = -40 \text{ kV} + x$ aufgefangen. Die Energie dieser Elektronen kann weitestgehend wieder an die Kathode der Elektronenkanone zurückgeführt werden und dient als Ladestrom.

[0029] Der nichtabgelenkte Strahlanteil, der in Teilchen oder Elektronenpaketen im zeitlichen Abstand gemäß der Betriebsfrequenz vorliegt, bewegt sich entlang der Strahlachse weiter und durchläuft die Hauptbeschleunigungsspannung, die beispielsweise bei 300 kV liegen kann, und tritt dann in den Ausgangskreis des Resonators ein. Ein derartiger Resonator kann eine einspaltige ringförmige Kavität aufweisen, wie sie auch bei anderen Lösungen üblich ist. Ein derartiger Resonator wird durch die durchlaufenden Elektronenpakete angeregt, und die im Resonator entstehenden Hochfrequenzfelder bremsen die Elektronen und speisen gleichzeitig die Ausgangsleitung des Verstärkers, die vorzugsweise eine Koaxialleitung oder ein Hohlleiter mit entsprechenden Ankopplungsantennen oder einem entsprechenden Koppelfenster sein können. Schließlich wird die restliche Elektronenenergie im Hauptkollektor abgegeben, wobei insbesondere die erfindungsgemäße Formierung der Elektronenstrahlmikrostruktur für eine Verkürzung der Baulänge von sonst für höhere Betriebsfrequenzen üblichen Klystronleistungsverstärkern sorgt.

[0030] Somit wird bei einem bevorzugten Durchführungsbeispiel des Verfahrens die Hochfrequenzenergie über ein Koaxialkabel ausgekoppelt, das mit einer Antenne in einen Ringresonatorraum ragt, welcher über einen den Elektronenstrahl umgebenden Ringspalt mit dem hochfrequenten, energiereichen Elektronenstrahl kommuniziert.

[0031] In einem weiteren bevorzugten Durchführungsbeispiel des Verfahrens wird das Auskoppeln der Hochfrequenzenergie über einen Hohlleiter erreicht, der mit

einer Koppelantenne in einen Ringresonatorraum hineinragt, welcher über einen den Elektronenstrahl umgebenden Ringspalt mit dem hochfrequenten, energiereichen Elektronenstrahl kommuniziert.

5 **[0032]** Bei einem weiteren bevorzugten Durchführungsbeispiel des Verfahrens wird das Auskoppeln der Hochfrequenzenergie über einen Hohlleiter erfolgen, der über ein Koppelfenster an einen Ringresonatorraum angeschlossen ist, wobei der Ringresonator über einen den Elektronenstrahl umgebenden Ringspalt mit dem Elektronenstrahl kommuniziert.

10 **[0033]** Ein weiteres bevorzugtes Durchführungsbeispiel des Verfahrens sieht vor, daß ein Elektronenstrahl mit hoher Raumladungskonstanten gemäß der Child-Langmuir-Gleichung von einer Elektronenstrahlkanone mit einem Strahlstrom von 20 A bis 60 A, vorzugsweise zwischen 30 bis 50 A, bei einer Beschleunigungsspannung (U_c) von 20 kV bis 60 kV, vorzugsweise von 30 kV bis 50 kV erzeugt wird.

20 **[0034]** Ein weiteres bevorzugtes Durchführungsbeispiel des Verfahrens sieht vor, daß der Elektronenstrahl mittels eines longitudinalen Magnetfeldes transversal im Brillouin-Gleichgewicht stabilisiert wird. Weiterhin ist vorgesehen, daß der intensitätsmodulierte Elektronenstrahl 25 einen schmalbandigen Hochfrequenzresonator im Ausgangskreis bei einer Betriebsfrequenz anregt. Dazu durchläuft der Elektronenstrahl ein homogenes transversalgerichtetes elektrisches Wechselfeld, wobei zwischen 50 und 80 % der Elektronenstrahlenergie von der Strahlachse abgelenkt werden.

30 **[0035]** In einem weiteren bevorzugten Durchführungsbeispiel des Verfahrens wird bei näherungsweise konstanter Elektronenenergie von 30 keV bis 60 keV in einem vorgespannten Kollektor mit Gegenfeld von -30 kV bis -40 kV der abgelenkte Anteil des Elektronenstrahls 35 aufgefangen. Dabei wird die Energie der aufgefangenen Elektronen in dem Kollektor mit Gegenfeld gesammelt und als Ladestrom der Kathode der Elektronenkanone zugeführt.

40 **[0036]** In einem weiteren bevorzugten Durchführungsbeispiel des Verfahrens werden die nicht abgelenkten Elektronenpakete in zeitlichem Abstand einer Betriebsfrequenz entlang der Strahlachse bewegt und geführt und treten mit einer Hauptbeschleunigungsspannung 45 zwischen 200 kV und 400 kV in einen Ausgangskreis der Vorrichtung, der als Resonator ausgebildet ist, ein. Dabei springt der Resonator im Ausgangskreis der Vorrichtung an, wobei hochfrequente Felder im Resonator die Energie der Elektronen aufnehmen, diese abbremsen und eine Ausgangsleitung, vorzugsweise ein Koaxialkabel und/oder einen Hohlleiter speisen.

50 **[0037]** Die verbleibende Restenergie der Elektronen wird vorzugsweise in einem Hauptkollektor abgegeben. Für eine elektrische Strahlablenkung in dem Hochfrequenzdeflektor wird in einem bevorzugten Durchführungsbeispiel des Verfahrens für einem Betriebsfrequenz f das ansteuernde Hochfrequenzsignal aus einem Hauptbestandteil bei einer Frequenz von $f/2$ und einer

Überlagerung mit der Frequenz $5f/2$ in einem Amplitudenverhältnis von 5:1 eingestellt. Dabei liegt die Betriebsfrequenz zwischen 100 und 400 MHz und pro Periode werden etwa 20 % der Elektronenstrahlteilchen impulsweise weitergegeben, da durch die Überlagerung der beiden Frequenzen ein entsprechender Nulldurchgang für eine entsprechende Zeitspanne pro Periode erreicht wird.

[0038] Die Erfindung wird nun anhand von Figuren näher erläutert.

Fig. 1 zeigt eine Prinzipskizze einer ersten Ausführungsform einer Vorrichtung zur Elektronenstrahlimpulsformung und -verstärkung.

Fig. 2 zeigt ein Diagramm einer Periode eines Hochfrequenzspannungssignals, das an einem Hochfrequenzdeflektor angelegt wird.

Fig. 3 zeigt die Ablenkwirkung auf Elektronen in einem Hochfrequenzdeflektor.

Figuren 4a und 4b zeigen Prinzipskizzen möglicher elektrischer Felder in einem Gleichspannungsdeflektor.

Fig. 5 zeigt einen Querschnitt durch einen asymmetrischen Gleichspannungsdeflektor mit eingezeichneten Äquipotentiallinien.

Fig. 6 zeigt mehrere Intensitätsprofile entlang der Elektronenstrahlachse für unterschiedliche Blendöffnungen des Kollektors mit Gegenfeld.

Fig. 7 zeigt eine Skizze der Elektronendichteverteilung nach Durchlaufen des Hochfrequenzdetektors.

Fig. 8 zeigt eine Skizze der Elektronendichteverteilung nach Durchlaufen des Hochfrequenzdeflektors und des Gleichspannungsdeflektors.

Fig. 9 zeigt eine Prinzipskizze einer Vorrichtung zur Elektronenstrahlimpulsformung und -verstärkung.

Fig. 10 zeigt eine Prinzipskizze einer Vorrichtung zur Ionenstrahlbeschleunigung.

[0039] Fig. 1 zeigt eine Prinzipskizze einer ersten Ausführungsform einer Vorrichtung zur Elektronenstrahlimpulsformung und -verstärkung. Diese besteht im wesentlichen aus einem vakuumdichten Gehäuse 28, in dem hintereinandergeschaltet eine Elektronenkanone 6, ein Hochfrequenzdeflektor 7, ein Gleichspannungsdeflektor 8, ein Kollektor mit Gegenfeld 9 und ein nichtgezeigter Nachbeschleuniger, der mit der Bezugsziffer 10 in Fig. 9 gezeigt wird, untergebracht sind. Die in Fig. 1 gezeigte Prinzipskizze dient im wesentlichen der Erläuterung des Funktionsprinzips der transversalen Ablenkeinheit zur

Mikrostrukturformierung des Elektronenstrahls. Die entsprechenden Vielteilchenberechnungen zur Formierung von Elektronenpaketen in dieser Vorrichtung wurden mit Hilfe von geeigneten Softwareprogrammpaketen durchgeführt.

[0040] Der in Fig. 1 gezeigte Abschnitt von der Elektronenkanone 6 bis zum Kollektor mit Gegenfeld 9, welcher die abgelenkten Elektronen, die im gezeigten Strahlquerschnitt in der x/z-Ebene schraffiert gezeigt werden, auffängt, enthält die wesentlichen Teile der erfindungsgemäßen Elektronenstrahlformierungsvorrichtung. Es sind die beiden unmittelbar hintereinander angeordneten Ablensysteme 7 und 8 deutlich zu erkennen, wobei die zweite elektrostatische Ablenkeinheit 8 durch das Kathodenpotential U_c versorgt werden kann. Die elektrische Feldrichtung E_y , die senkrecht zu der Darstellungsebene angeordnet ist, muß für $x > 0$ umgekehrt orientiert sein als für $x < 0$, um die Elektronenumlenkung der vorgeschalteten hochfrequenten Ablenkeinheit weiter zu verstärken. Die Umgebung der z-Achse, wie sie in der Darstellung verdeutlicht wird, wird im Gleichspannungsdeflektor 8 durch Überlappung der auf Masse liegenden Elektroden nahezu feldfrei gehalten, um die durchlaufenden Elektronenpakete möglichst wenig zu stören.

[0041] Fig. 2 zeigt ein Diagramm einer Periode eines Hochfrequenzspannungssignals, das an den Hochfrequenzdeflektor 7 angelegt wird. Dazu ist auf der Abzisse die Zeit in Nanosekundeneinheiten eingetragen und auf der Ordinate die Hochfrequenzablenkspannung in kV. Innerhalb einer Hochfrequenzperiode bei einer Betriebsfrequenz f ergibt sich durch entsprechende Anregungsfrequenzen des Hochfrequenzdeflektors 7 ein wiederkehrendes Plateau 51 bei der Spannung 0 V. Diese wiederkehrende Plateau 51 bei der Spannung 0 V definiert den durchlaufenden Strahlanteil, der nicht abgelenkt wird. Ferner zeigt das Diagramm der Fig. 2 die steil ansteigenden Spannungsfanken 53 und 54 am Beginn und am Ende des Plateaus 51, wodurch eine starke Ablenkung des Elektronenstrahls ausgelöst wird, was wiederum die Impulspausen definiert. Das Plateau selbst entspricht etwa einem Strahlanteil von 20 % bzw. einer Phasenbreite von 70° in Einheiten der Betriebsfrequenz. Demnach besteht das ansteuernde HF-Signal aus einem Hauptbestandteil bei der Frequenz $f/2$ und einer Überlagerung mit der Frequenz $5f/2$. Bei einem Amplitudenverhältnis von etwa 5:1 und der entsprechenden Phasenbeziehung entsteht diese in Fig. 2 gezeigte und gewünschte Signalform, die sich aus den Komponenten $V = \sin(\pi ft) - 0,2 V \cdot \sin(5\pi ft)$ zusammensetzt.

[0042] Fig. 3 zeigt die Ablenkwirkung auf die Elektronen in einem Hochfrequenzdeflektor 7. Dabei beschreiben die Elektronen in der x/y-Ebene unter dem Einfluß des elektrischen und magnetischen Feldes die dort gezeigten Bahnen. Der Vorteil gekreuzter elektrischer und magnetischer Felder ist dabei, daß die Auslenkung mittels der $E \times B$ -Drift im wesentlichen in der x/y-Ebene erfolgt, so daß die Deflektorplatten des Hochfrequenzdeflektors 7 keine Begrenzung darstellen, solange der

Gyroradius r_g geeignet gewählt ist.

[0043] Die Figuren 4a und 4b zeigen Prinzipskizzen möglicher elektrischer Felder in einem Gleichspannungsdeflektor 8. In dem hier diskutierten Ausführungsbeispiel wird der asymmetrische Gleichspannungsdeflektor der Fig. 4b in einer leicht modifizierten Form, wie sie die Fig. 5 zeigt, angewandt. Der unsymmetrische Gleichspannungsdeflektor 8 hat gegenüber dem symmetrischen Gleichspannungsdeflektor der Fig. 4a den Vorteil einer einfacheren Gestaltung durch lediglich vier Ablenkplatten 36 bis 38 gegenüber sechs Ablenkplatten 30 bis 35 der Fig. 4a.

[0044] Fig. 5 zeigt einen Querschnitt durch einen asymmetrischen Gleichspannungsdeflektor 8 mit eingezeichneten Äquipotentiallinien 29. Deutlich ist an dieser Darstellung zu erkennen, daß das Zentrum zwischen den Ablenkplatten 40 bis 43 feldfrei gehalten ist, so daß Elektronen, die diese Abdeckplatten im Zentrum durchfliegen, nicht oder nur geringfügig zusätzlich abgelenkt werden. Ferner besteht die Modifikation der Ausführungsform nach Fig. 5 gegenüber der Prinzipskizze nach Fig. 4b darin, daß die an Masse (0 V) liegenden Ablenkplatten 41 und 42 gegenüber der Zentrumslinie 44 zunächst parallel und dann teilweise abgewinkelt sind und die mit einer negativen Spannung in dieser Ausführungsform von -40 kV beaufschlagten Ablenkplatten gegenüber der Zentrumslinie 44 vollständig abgewinkelt sind.

[0045] Fig. 6 zeigt mehrere Intensitätsprofile entlang der Elektronenstrahlachse in z-Richtung für unterschiedliche Blendenöffnungen eines Kollektors 9 mit Gegenfeld. Bei dieser Darstellung ist auf der Abszisse die z-Richtung in Zentimetern eingetragen, und auf der Ordinate ist in beliebigen Einheiten die Elektronenstrahldichte vergleichsweise aufgetragen. Die Kurven wurden für drei unterschiedliche Blendenöffnungen des Kollektors 9 mit Gegenfeld von ≤ 5 mm, ≤ 6 mm und ≤ 7 mm aufgenommen. Das Impulspaket oder Elektronenpaket, das durch diese Blende periodisch ausgegeben wird, hat eine Länge von nicht ganz 10 cm, wobei die Länge mit zunehmendem Durchmesser der Öffnung in dem Kollektor 9 mit Gegenfeld geringfügig zunimmt. Das Intensitätsmaximum hängt bei dieser Impulsbreite jedoch nicht von der Blendenöffnung ab, sondern das Intensitätsmaximum wird offensichtlich durch den Gleichspannungsdeflektor mit einer Beschleunigungsspannung U_c bestimmt und ist bei gleichbleibender Gleichspannung auch gleich intensiv.

[0046] Fig. 7 zeigt eine Skizze der Verteilung der Elektronendichte nach Durchlaufen des Hochfrequenzdeflektors. Bei dieser Darstellung ist auf der Abszisse die x-Position in mm und auf der Ordinate die Elektronendichte in beliebigen Einheiten aufgetragen. Nach dem Durchlaufen des Hochfrequenzdeflektors 7 liegen noch 37 % der Elektroden im zentralen Durchlaßbereich der Elektronenstrahlformierungsvorrichtung, während große Anteile des Elektronenstrahls nach unten oder nach oben durch das hochfrequente Wechselfeld abgelenkt werden und für eine weitere Beschleunigung nicht zur

Verfügung stehen. Der Gleichstromelektronenstrahl, wie er aus der Elektronenkanone 6 kommt, wird demnach bereits in Elektronenpakete zerschnitten. Noch deutlicher zeigt dieses die Fig. 8.

[0047] Fig. 8 zeigt eine Skizze der Elektronendichteverteilung nach Durchlaufen des Hochfrequenzdeflektors 7 und des Gleichspannungsdeflektors 8. Auf der Abszisse ist wiederum die x-Position in mm eingetragen, und auf der Ordinate die Elektronendichte in beliebigen vergleichenden Einheiten. Nach dem Gleichspannungsdeflektor konzentrieren sich die Maxima der abgelenkten Elektroden im deutlichen Abstand von der Strahlmitte, die bei 0,0 mm liegt. Lediglich 20 % der Elektronen verbleiben in der Strahlmitte und können in dem nachfolgenden Hochbeschleuniger weiter beschleunigt werden. Diese 20 % ergeben sich aus Elektronenpaketen bzw. Elektronenimpulsen, wie sie in räumlicher Erstreckung in Fig. 6 dargestellt wurden. Der Querschnitt der weiter zu transportierenden Teilchenpakete ergibt sich in seiner Dichteverteilung zu etwa 13 mm in x-Richtung und zu etwa 11 mm in y-Richtung. Aus diesem Querschnitt schneidet die Blendenöffnung des Kollektors mit Gegenfeld einen entsprechenden Elektronenimpulsstrahl aus.

[0048] Fig. 9 zeigt eine Prinzipskizze einer Vorrichtung zur Elektronenstrahlimpulsformung und -verstärkung. In Fig. 9 definieren gleiche Bezugszeichen gleiche Vorrichtungskomponenten wie in Fig. 1. Eine Erörterung dieser Vorrichtungskomponenten wird deshalb weitestgehend weggelassen. In Fig. 9 ist zusätzlich zu den in Fig. 1 gezeigten Vorrichtungskomponenten ein Frequenzumsetzer f_1 zu sehen, der bei der halben Betriebsfrequenz f schwingt und über einen Phasenschieber 45 einem Verstärker 48 zugeführt wird, der das Signal des Frequenzumsetzers f_1 auf etwa 50 kW verstärkt. Diesem Signal wird ein Signal überlagert, das von einem zweiten Frequenzumsetzer f_2 geliefert wird, der eine Frequenz von $5f/2$ erzeugt und dieses Signal dem Signal des ersten Frequenzumsetzers am Koppelpunkt 50 überlagert. Dabei wird neben der richtigen Phase eine Amplitudenanpassung durch den Verstärker 49 eingestellt, so daß die Amplitude des Signals des Frequenzumsetzers f_2 lediglich $1/5$ der Amplitude des Frequenzumsetzers f_1 beträgt. Dieses Signal, das für eine Periode die Form des in Fig. 2 gezeigten Diagramms annimmt, wird an die Platten des Hochfrequenzdeflektors 7 angelegt. Dem Signal überlagert ist ein Magnetfeld, das durch die Spule 47 innerhalb des Gehäuses 28 erzeugt wird.

[0049] Zwischen den Platten wird ein Elektronenstrahl 14 in der Elektronenstrahlachse 5 von einer Elektronenstrahlkanone 6 erzeugt, die in dieser Ausführungsform eine Pierce-Typ-Elektronenstrahlkanone ist. Diese Elektronenkanone erzeugt einen hochperveanten Elektronenstrahl mit hoher Raumladungskonstanten gemäß der Child-Langmuir-Gleichung und wird mittels eines longitudinalen Magnetfeldes der Spule 47 transversal stabilisiert und im Brillouin-Gleichgewicht gehalten.

[0050] Nach der Stückelung des Elektronenstrahls in dem Hochfrequenzdeflektor 7 werden sowohl die abge-

lenkten Elektronenpakete als auch die im Achszentrum verbleibenden Elektronenpakete durch den Gleichspannungsdeflektor 8 geführt. Dabei wird der zeitliche Abstand der Pakete durch die Betriebsfrequenz f , die zwischen 100 und 400 MHz liegt, bestimmt. Während die abgelenkten Elektronenstrahlpaketanteile von dem Kollektor 9 mit Gegenfeld aufgenommen und über eine Verbindungsleitung der Kathode der Elektronenstrahlkanone 6 zugeführt werden, erreichen die im Zentrum befindlichen etwa 20 % der Elektronen des Elektronenstrahls den Nachbeschleuniger 10, der mit einer Beschleunigungsspannung in dieser Ausführungsform von 300 kV die Elektronenstrahlimpulse oder Elektronenpakete energetisch verstärkt, so daß sie mit dem sich anschließenden ringförmigen Resonator 15 über den Ringspalt 25 in Wechselwirkung treten können.

[0051] Dabei entzieht der Resonator angeregt durch die Frequenz des Elektronenstrahls den Elektronenpaketen Energie, die in dieser Ausführungsform über eine Antenne 23 einer Koaxialausgangsleitung 12 zugeführt wird. Dieses Koaxialkabel kann an einen Verbraucher angeschlossen sein. In anderen Ausführungsformen der Erfindung ist der Verbraucher unmittelbar ein Ionenstrahl einer Beschleunigungskammer oder eines Ionenbeschleunigertanks, beispielsweise einer Ionenstrahltherapieanlage oder einer Ionenstrahlmaterialuntersuchungsanlage, die im wesentlichen mit Schwerionen wie Kohlenstoff- und Sauerstoffionen betrieben wird.

[0052] Die Ausgangsleitung 12 kann auch ein Hohlleiter sein, der über ein Kopplungsfenster mit dem Resonator 15 kommuniziert oder über eine koaxiale Durchführung mit dem Resonator 15 in Verbindung steht. Die dem Resonator 15 und damit dem Elektronenstrahl 14 durch die Ausgangsleitung nicht entzogene Energie wird von dem Hauptkollektor 13 aufgenommen. Dieser Hauptkollektor 13 weist vorzugsweise wassergekühlte Wandungen auf, um die Restenergie abzuführen, die in dieser Ausführungsform unter 10 % liegt. Bei einer Maximalleistung von 10 MW ist dennoch eine hohe Kühlleistung erforderlich, um ein Schmelzen des Gehäuses des Hauptkollektors zu vermeiden.

[0053] Fig. 10 zeigt eine Prinzipskizze einer Vorrichtung zur Ionenstrahlbeschleunigung. Das erfindungsgemäße Prinzip hat den Vorteil, daß es unmittelbar in eine Anlage zur Ionenstrahlbeschleunigung eingebracht werden kann. Entsprechend zeigt die Fig. 10 eine Vorrichtung 51 zur Ionenstrahlbeschleunigung, die einen Ionenbeschleunigertank 1 mit zentraler Behälterachse 2 zur Führung und Beschleunigung eines gepulsten Ionenstrahls 3 in der Behälterachse 2 aufweist. Dazu ist eine Elektronenstrahlimpulsformungs- und -verstärkungseinrichtung 4 mit Elektronenstrahlachse 5 zur Mikrostrukturierung und Verstärkung von Stromimpulsen für die Versorgung der Vorrichtung 51 zur Ionenstrahlbeschleunigung mit Hochfrequenzleistung derart angeordnet, daß die Elektronenstrahlimpulsformungs- und -verstärkungseinrichtung 4 mit ihrer Elektronenstrahlachse 5 quer und versetzt zur Behälterachse 2 angeordnet ist und außer-

halb des Ionenbeschleunigertanks 1 eine Elektronenstrahlkanone 6, einen Hochfrequenzdeflektor 7, einen Gleichspannungsdeflektor 8, einen Kollektor 9 mit Gegenfeld und einen Nachbeschleuniger 10 aufweist und innerhalb des Ionenbeschleunigertanks 1 einen Leistungskoppler 11 zur Ankopplung der Leistung des Elektronenstrahls 14 an einen Verbraucher 12, der in diesem Fall der gepulste Ionenstrahl 3 ist, wobei ein Hauptkollektor 13 die Restleistung des Elektronenstrahls 14 aufnimmt und die genannten Vorrichtungskomponenten nacheinander in Richtung des Ionenstrahls 14 angeordnet sind.

[0054] Zur Auskopplung der Energie des Elektronenstrahls 14 aus der Elektronenstrahlimpulsformungs- und -verstärkungseinrichtung 4 sind ein oberer Ringspalt 16 und ein unterer Ringspalt 17 mit dazwischen angeordneter den Ionenstrahl coaxial umgebenden Kopplungsstufe angeordnet. Die Kopplungsstufe 18 wird durch die Driftröhrenhalterung 19 gehalten, die gleichzeitig im Bereich des Zentrums des Ionenbeschleunigertanks 1 den Ionenstrahl 3 umgibt. Die Spaltgröße und der Spaltabstand sowie der Versetzungsabstand zwischen Elektronenstrahlachse und Ionenstrahlachse sind derart aufeinander abgestimmt, daß das Volumen des Ionenbeschleunigertanks 1 als Resonator für den gepulsten Elektronenstrahl dienen kann, wobei der Resonator unmittelbar auf den im Zentrum geführten gepulsten Ionenstrahl wirkt.

[0055] Die halbe Betriebsfrequenz f des Ionenstrahls 3 wird in dem Frequenzumsetzer f_1 über einen Phasenschieber 45 und einen Verstärker 48 einem Koppelpunkt 50 zugeführt, an dem gleichzeitig die $f_5/2$ Betriebsfrequenz f mit dem Frequenzumsetzer f_2 über den Verstärker 49 anliegt. Mit diesen überlagerten Frequenzen wird der Hochfrequenzdeflektor 7 betrieben, der den Ionenstrahl aus der Elektronenstrahlkanone 6 moduliert.

[0056] Anschließend wird in einem Gleichspannungsdeflektor 8 die Auslenkung und die Trennung zwischen ausgelenkten Ionenstrahlabschnitten und damit Impulspausen und im Zentrum weitergeführten Ionenstrahlabschnitten und damit Impulsängen verstärkt, so daß die abgelenkten Ionenstrahlabschnitte von dem Kollektor 9 mit dem Gegenfeld aufgenommen werden können. Die zentral auf der Ionenstrahlachse 5 fortgeführten Elektronenpakete werden in dem Nachbeschleuniger 10 auf eine entsprechend hohe Energie gebracht, so daß sie mit dem Raumvolumen des Ionenbeschleunigertanks 1 in Resonanz treten können. Dabei wird ein wesentlicher Teil der Elektronenstrahlenergie auf die Ionenstrahlimpulse übertragen, während eine geringe Restmenge von unter 10 % der Elektronenstrahlenergie dem Hauptkollektor 13 zugeführt wird. Im Gegensatz zur Fig. 9 weist diese erfindungsgemäße Lösung einen oberen Ringspalt 16 und einen unteren Ringspalt 17 auf, die den Elektronenstrahl umgeben, während dazwischen ein Koppelstück 18 angeordnet ist.

Bezugszeichenliste

[0057]

1	Ionenbeschleunigertank	5
2	Zentralbehälter	
3	gepulster Ionenstrahl	
4	Elektronenstrahlimpulsformungs- und -verstärkungseinrichtung	
5	Elektronenstrahlachse	10
6	Elektronenkanone	
7	Hochfrequenzdeflektor	
8	Gleichspannungsdeflektor	
9	Kollektor mit Gegenfeld	
10	Nachbeschleuniger	15
11	Leistungskoppler	
12	Verbraucher	
13	Hauptkollektor	
14	Elektronenstrahl	
15	Resonator	20
16	oberer Ringspalt	
17	unterer Ringspalt	
18	Kopplungsstufe	
19	Inhomogenes Feld	
20	Homogenes transversalgerichtetes Wechsel- feld	25
21	Ausgangskreis	
22	ringförmige Kavität	
23	Antenne	
24	Koaxialkabel	30
25	Ringspalt	
26	einspaltige Kavität	
27	Ringresonatorraum	
28	Gehäuse	
29	Äquipotentiallinien	35
30-35	Ablenkplatten des symmetrischen Gleichspan- nungsdeflektors	
36-39	Ablenkplatten des asymmetrischen Gleich- spannungsdeflektors	
40-43	Ablenkplatten des Gleichspannungsdeflektors	40
44	Zentrumslinie	
45	Phasenschieber	
47	Spule	
48	Verstärker	
49	Verstärker	45
f ₁	Frequenzumsetzer	
f ₂	Frequenzumsetzer	
50	Koppelpunkt	
51	Vorrichtung zur Ionenstrahlbeschleunigung	
52	Plateau	50
53-54	Flanken	

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Elektronenstrahlimpulsformung und -verstärkung mit

(a) einer Elektronenkanone (6),
 (b) einem Hochfrequenzdeflektor (7),
 (c) einem Gleichspannungsdeflektor (8),
 (d) einem Kollektor mit Gegenfeld (9),
 (e) einem Nachbeschleuniger (10)
 (f) einem Leistungskoppler (11) zur Ankopplung der Leistung des Elektronenstrahls (14) an einen Verbraucher (12), und
 (g) einem Hauptkollektor (13) zur Aufnahme der Restleistung des Elektronenstrahls (14),

wobei die Vorrichtungskomponenten (a) bis (g) nacheinander in Richtung des Elektronenstrahls (14) angeordnet sind.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Verbraucher (12) eine Antenne (23) eines Koaxialkabelendes (24) ist, die in einem Resonator (15), der über einem den Elektronenstrahl (14) umgebenden Ringspalt (25) mit dem Elektronenstrahl (14) gekoppelt ist, hineinragt.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Verbraucher (12) ein Antennenkoppler eines Hohlleiters ist, wobei der Antennenkoppler in einen Resonator (15) hineinragt, der den Elektronenstrahl (14) mit einem Ringspalt (25) umgibt.

4. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Verbraucher (12) ein Kopplungsfenster zu einem Hohlleiter ist, wobei das Kopplungsfenster sich zu einem Resonator (15) öffnet, der den Elektronenstrahl (14) mit einem Ringspalt (25) umgibt.

5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Elektronenstrahlkanone (6) eine Pierce-Typ-Elektronenstrahlkanone ist.

6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Hochfrequenzdeflektor (7) ein homogenes transversal gerichtetes Wechselfeld (20) aufweist.

7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Gleichspannungsdeflektor (8) ein inhomogenes zeitlich konstantes transversales elektrisches Feld (19) aufweist.

8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Leistungskoppler (11) in seinem Ausgangskreis (21) einen Resonator (15) aufweist.

9. Vorrichtung nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Ausgangskreis (21) eine einspal-

tige ringförmige Kavität (26) als Resonator (15) aufweist.

10. Vorrichtung zur Ionenstrahlbeschleunigung, umfassend:

(A) einen Ionenbeschleunigertank (1) mit zentraler Behälterachse (2) zur Führung und Beschleunigung eines gepulsten Ionenstrahls (3) in der Behälterachse (2),
(B) eine Elektronenstrahlimpulsformungs- und -verstärkungseinrichtung (4) gemäß einem der Ansprüche 1, 5 bis 9 mit Elektronenstrahlachse (5) zur Mikrostrukturierung und Verstärkung von Stromimpulsen für die Versorgung der Vorrichtung zur Ionenstrahlbeschleunigung mit Hochfrequenzleistung, wobei

die Elektronenstrahlimpulsformungs- und -verstärkungseinrichtung (4) mit ihrer Elektronenstrahlachse (5) quer und versetzt zur Behälterachse (2) angeordnet ist und außerhalb des Ionenbeschleunigertanks (1)

(a) eine Elektronenkanone (6),
(b) einen Hochfrequenzdeflektor (7),
(c) einen Gleichspannungsdeflektor (8),
(d) einen Kollektor mit Gegenfeld (9) und
(e) einen Nachbeschleuniger (10) aufweist und innerhalb des Ionenbeschleunigertanks
(f) einen Leistungskoppler (11) zur Ankopplung der Leistung des Elektronenstrahls (14) an einen Verbraucher (12),
(g) einen Hauptkollektor (13) zur Aufnahme der Restleistung des Elektronenstrahls (14) aufweist, wobei der Verbraucher (12) der gepulste Ionenstrahl (3) ist.

11. Vorrichtung nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Leistungskoppler (11) einen Resonator (15) mit einem den Elektronenstrahl (14) radial umgebenden oberen Ringspalt (16) und einem den Elektronenstrahl (14) radial umgebenden unteren Ringspalt 17 in dem Ionenbeschleunigertank (1) aufweist.

12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Leistungskoppler (11) eine zwischen Ringspalten (16, 17) angeordnete Kopplungsstufe (18) aufweist, die koaxial den Elektronenstrahl (14) umgibt und radial versetzt und transversal zum Ionenstrahl (3) innerhalb des Ionenbeschleunigertanks (1) angeordnet ist, wobei die Kopplungsstufe (18) an einer Driftröhrenhalterung (19) des Ionenstrahls (14) befestigt ist.

13. Vorrichtung zur Hochfrequenzleistungsverstärkung, insbesondere zur Versorgung einer Vorrichtung mit

einer Kavität zur Ionenstrahlbeschleunigung mit Hochfrequenzleistung, umfassend:

einen Vakuumtank mit zentraler Tankachse zur Erzeugung und Beschleunigung eines gepulsten Elektronenstrahls (14) längs der Tankachse, wobei
eine Elektronenstrahlimpulsformungs- und -verstärkungseinrichtung (4) gemäß Anspruch 1 mit ihrer Elektronenstrahlachse (5) quer und versetzt zu einer Behälterachse (2) eines Ionenbeschleunigertanks (1) angeordnet ist und außerhalb des Ionenbeschleunigertanks (1)

(a) eine Elektronenkanone (6),
(b) einen Hochfrequenzdeflektor (7),
(c) einen Gleichspannungsdeflektor (8),
(d) einen Kollektor (9) mit Gegenfeld und
(e) einen Nachbeschleuniger (10) aufweist und innerhalb des Ionenbeschleunigertanks
(f) einen ersten sowie einen zweiten Spalt zur Ankopplung der Leistung des Elektronenstrahls (14) an den Ionenstrahl (3) und
(g) einen Hauptkollektor (13) zur Aufnahme der Restleistung des Elektronenstrahls (14) aufweist.

14. Vorrichtung nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet, daß** ein Ausgangskreis einen Leistungskoppler zur Einspeisung in einen Wellenleiter aufweist.

15. Vorrichtung nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Ausgangskreis als einspaltige Kavität ausgeführt ist.

16. Verfahren zur Elektronenstrahlimpulsformung und Verstärkung, das folgende Verfahrensschritte aufweist:

Erzeugen eines Elektronenstrahls (14) mittels einer Elektronenstrahlkanone (5),
Beaufschlagen des Elektronenstrahls (14) mit einem transversalen hochfrequenten Wechselfeld (20) unter gleichzeitiger hochfrequenter Auslenkung des Elektronenstrahls (14),
Hochfrequentes Ausblenden von bis zu 80 % der Elektronenstrahlenergie zu einem Kollektor (9) mit Gegenfeld mittels eines Hochfrequenzdeflektors (7) und eines Gleichspannungsdeflektors (8),
Nachbeschleunigen des hochfrequenzmodulierten Elektronenstrahls (14) zu Elektronenstrahlimpulsen,
Auskoppeln der Hochfrequenzenergie über einen Leistungskoppler (11).

17. Verfahren nach Anspruch 16, **dadurch gekennzeichnet,**

- zeichnet, daß** das Auskoppeln der Hochfrequenzenergie über ein Koaxialkabelende (24) erfolgt, das mit einer Antenne (23) in einen Ringresonatorraum (27) ragt, welcher über einen den Elektronenstrahl (14) umgebenden Ringspalt (25) mit dem hochfrequenten energiereichen Elektronenstrahl (14) kommuniziert.
18. Verfahren nach Anspruch 16 oder Anspruch 17, **dadurch gekennzeichnet, daß** das Auskoppeln der Hochfrequenzenergie über einen Hohlleiter erfolgt, der mit einer Koppelantenne in einen Ringresonatorraum (27) ragt, welcher über einen den Elektronenstrahl (14) umgebenden Ringspalt (25) mit dem hochfrequenten, energiereichen Elektronenstrahl (14) kommuniziert.
19. Verfahren nach einem der Ansprüche 16 bis 18, **dadurch gekennzeichnet, daß** das Auskoppeln der Hochfrequenzenergie über einen Hohlleiter erfolgt, der über ein Koppelfenster an einen Ringresonator (27) angeschlossen ist, wobei der Resonator (15) über einen den Elektronenstrahl (14) umgebenden Ringspalt (25) mit dem Elektronenstrahl (14) kommuniziert.
20. Verfahren nach einem der Ansprüche 16 bis 19, **dadurch gekennzeichnet, daß** ein Elektronenstrahl (14) mit hoher Raumladungskonstanten gemäß der Child-Langmuir-Gleichung von einer Elektronenstrahlkanone (6) mit einem Elektronenstrahl von 20 A bis 60 A, vorzugsweise 30 A bis 50 A, bei einer Beschleunigungsspannung (U_0) von 20 kV bis 60 kV, vorzugsweise 30 kV bis 50 kV, erzeugt wird.
21. Verfahren nach einem der Ansprüche 16 bis 20, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Elektronenstrahl (14) mittels eines longitudinalen Magnetfeldes transversal im Brillouin-Gleichgewicht stabilisiert wird.
22. Verfahren nach einem der Ansprüche 16 bis 21, **dadurch gekennzeichnet, daß** der intensitätsmodulierte Elektronenstrahl (14) einen schmalbandigen HF-Resonator im Ausgangskreis bei einer Betriebsfrequenz (f) anregt.
23. Verfahren nach einem der Ansprüche 16 bis 22, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Elektronenstrahl (14) ein homogenes transversal gerichtetes elektrisches Wechselfeld (20) durchläuft.
24. Verfahren nach einem der Ansprüche 16 bis 23, **dadurch gekennzeichnet, daß** zwischen 50 % und 80 % der Elektronenstrahlenergie von der Elektronenstrahlachse (5) abgelenkt werden.
25. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche 16 bis 24, **dadurch gekennzeichnet, daß** bei näherungsweise konstanter Elektronenenergie von 30 keV bis 50 keV in einem vorgespannten Kollektor (9) mit Gegenfeld von -30 kV bis -40 kV der abgelenkte Anteil des Elektronenstrahls aufgefangen wird.
26. Verfahren nach einem der Ansprüche 16 bis 25, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Energie aufgefangener Elektronen in einem Kollektor (9) mit Gegenfeld gesammelt und als Ladestrom der Kathode der Elektronenstrahlkanone (6) zugeführt werden.
27. Verfahren nach einem der Ansprüche 16 bis 26, **dadurch gekennzeichnet, daß** die nicht abgelenkten Elektronenpakete im zeitlichen Abstand einer Betriebsfrequenz (f) entlang der Elektronenstrahlachse (14) bewegt und mit einer Hauptbeschleunigungsspannung zwischen 200 und 400 kV in einen Ausgangskreis (21) der Vorrichtung, der als Resonator (15) ausgebildet ist, eintreten.
28. Verfahren nach einem der Ansprüche 16 bis 27, **dadurch gekennzeichnet, daß** ein Resonator (15) im Ausgangskreis (21) der Vorrichtung anspringt, wobei hochfrequente Felder im Resonator (15) die Energie der Elektronen aufnehmen, diese abbremesen und eine Ausgangsleitung, vorzugsweise ein Koaxialkabelende (24) und/oder einen Hohlleiter speisen.
29. Verfahren nach einem der Ansprüche 16 bis 28, **dadurch gekennzeichnet, daß** eine Restenergie der Elektronen in einem Hauptkollektor (13) abgegeben wird.
30. Verfahren nach einem der Ansprüche 16 bis 29, **dadurch gekennzeichnet, daß** für eine elektronische Ablenkung in dem Hochfrequenzdeflektor (7) für eine Betriebsfrequenz (f) das angesteuerte Hochfrequenzsignal aus einem Hauptbestandteil bei der Frequenz (f/2) und einer Überlagerung der Frequenz (5f/2) mit einem Amplitudenverhältnis 5:1 besteht.
31. Verfahren zur Ionenstrahlbeschleunigung, das mit einer Vorrichtung durchgeführt wird, die
- einen Ionenbeschleunigertank (1) mit zentraler Behälterachse (2) zur Führung und Beschleunigung eines gepulsten Ionenstrahls (14) in der Behälterachse (2) und
 - eine Elektronenstrahlimpulsformungs- und verstärkungseinrichtung (4) mit Elektronenstrahlachse (5) zur Mikrostrukturierung und Verstärkung von Stromimpulsen für die Versorgung der Vorrichtung zur Ionenstrahlbeschleunigung mit Hochfrequenzleistung aufweist, wobei
 - die Elektronenstrahlimpulsformungs- und verstärkungseinrichtung (4) mit ihrer Elektronenstrahlachse (5) quer und versetzt zur Behälterachse (2) angeordnet ist.

terachse (2) angeordnet ist und außerhalb des Ionenbeschleunigertanks (1) mit einer Elektronenkanone (6) einen Elektronenstrahl (14) erzeugt, und

- mittels eines Hochfrequenzdeflektors (7) und eines Gleichspannungsdeflektors (8) über 50 % des Elektronenstrahlstroms bei Frequenzen von 100 MHz bis 400 MHz taktweise zur Mikrostrukturierung des Elektronenstrahls (14) in einen Kollektor (9) mit Gegenfeld ablenkt und
- ein Nachbeschleuniger (10) unter einer Beschleunigerspannung von mehreren 100 Kilovolt vorzugsweise 200 bis 400 Kilovolt den Elektronenstrahl (14) in den Ionenbeschleunigertank (1) einführt und
- über einen Leistungskoppler (11) den Ionenstrahl (3) beschleunigt.

32. Verfahren nach Anspruch 31, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Elektronenstrahl (14) einer Intensitätsmodulation unterworfen wird, die der Betriebsfrequenz (f) des Ionenstrahls (3) entspricht.

33. Verfahren nach Anspruch 31 oder 32, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Kollektor (9) mit Gegenfeld bis zu 80 % der Elektronenstrahlenergie aufnimmt.

Claims

1. Apparatus for forming and amplifying electron beam pulses, comprising

- (a) an electron gun (6),
- (b) a high frequency deflector (7),
- (c) a direct voltage deflector (8),
- (d) a collector with opposing field (9),
- (e) an after-accelerator (10),
- (f) a power coupling (11) for coupling the power of the electron beam (14) to a consumer load (12), and
- (g) a main collector (13) for receiving the remaining power of the electron beam (14),

wherein the components (a) to (g) of the apparatus are arranged in succession in the direction of the electron beam (14).

2. Apparatus according to claim 1, **characterized in that** the consumer load (12) is an antenna (23) of a coax cable head (24) extending into a resonator (15) which is coupled to the electron beam (14) by an annular gap (25) surrounding the electron beam (14).

3. Apparatus according to claim 1, **characterized in that** the consumer load (12) is an antenna coupling of a hollow conductor, wherein the antenna coupling extends into a resonator (15) which surrounds the

electron beam (14) with an annular gap (25).

4. Apparatus according to claim 1, **characterized in that** the consumer load (12) is a coupling window to a hollow conductor, wherein the coupling window opens to a resonator (15), which surrounds the electron beam (14) with an annular gap (25).

5. Apparatus according to one of the claims 1 to 4, **characterized in that** the electron beam gun (6) is an electron beam gun of the Pierce type.

6. Apparatus according to one of the claims 1 to 5, **characterized in that** the high frequency deflector (7) comprises a homogeneous transversally aligned alternating field (20).

7. Apparatus according to one of the claims 1 to 6, **characterized in that** the direct voltage deflector (8) comprises an inhomogeneous transversal electric field (19) being constant in time.

8. Apparatus according to one of the claims 1 to 7, **characterized in that** the power coupling (11) comprises a resonator (15) in its output circuit (21).

9. Apparatus according to claim 8, **characterized in that** the output circuit (21) comprises a single-gap ringlike cavity (26) as a resonator (15).

10. Apparatus for accelerating ion beams, comprising:

- (A) an ion accelerator tank (1) with central recipient axis (2) for guiding and accelerating a pulsed ion beam (3) in the recipient axis (2),
- (B) a device (4) for forming and amplifying electron beam pulses according to one of the claims 1, 5 to 9 with electron beam axis (5) for microstructuring and amplifying of current pulses for the supply of the apparatus for accelerating ion beams with high frequency power, wherein

the device (4) for forming and amplifying electron beam pulses is arranged with its electron beam axis (5) transverse and shifted to the recipient axis (2) and comprises outside of the ion accelerator tank (1)

- (a) an electron gun (6),
 - (b) a high frequency deflector (7),
 - (c) a direct voltage deflector (8),
 - (d) a collector with opposing field (9) and
 - (e) an after-accelerator (10)
- and comprises in the ion accelerator tank
- (f) a power coupling (11) for coupling the power of the electron beam (14) to a consumer load (12),
 - (g) a main collector (13) for receiving the remaining power of the electron beam (14),

wherein the consumer load (12) is the pulsed ion beam (3).

11. Apparatus according to claim 10, **characterized in that** the power coupling (11) comprises a resonator (15) with an upper annular gap (16) surrounding the electron beam (14) in a radial way and a lower annular gap (17) surrounding the electron beam (14) in a radial way in the ion accelerator tank (1).

12. Apparatus according to one of the claims 10 to 11, **characterized in that** the power coupling (11) comprises a coupling stage (18) being arranged between annular gaps (16, 17) which coaxially surrounds the electron beam (14) and is arranged radially shifted and transversal to the ion beam (3) in the ion accelerator tank (1), wherein the coupling stage (18) is affixed to a drift tube attachment (19) of the ion beam (14).

13. Apparatus for high frequency power amplification, in particular for supplying an apparatus with a cavity for ion beam acceleration with high frequency power, comprising:

a vacuum tank with a central tank axis for generating and accelerating a pulsed ion beam (14) along the tank axis,

wherein

a device (4) for forming and amplifying electron beam pulses according to claim 1 is arranged with its electron beam axis (5) transverse and shifted to a recipient axis (2) of an ion accelerator tank (1) and comprises outside of the ion accelerator tank (1)

- (a) an electron gun (6),
 - (b) a high frequency deflector (7),
 - (c) a direct voltage deflector (8),
 - (d) a collector (9) with opposing field and
 - (e) an after-accelerator (10)
- and comprises in the ion accelerator tank
- (f) a first gap as well as a second gap for coupling the power of the electron beam (14) to the ion beam (3) and
 - (g) a main collector (13) for receiving the remaining power of the electron beam (14).

14. Apparatus according to claim 13, **characterized in that** an output circuit comprises a power coupling for feeding into a wave guide.

15. Apparatus according to claim 14, **characterized in that** the output circuit is implemented as a single-gap cavity.

16. A method for forming and amplifying electron beam pulses comprising the following method steps:

generating an electron beam (14) by means of an electron beam gun (5),
supplying the electron beam (14) with a transversal high frequency alternating field (20) under simultaneous high frequency deflection of the electron beam (14),
high frequency gating out of up to 80 % of the electron beam energy to a collector (9) with opposing field by means of a high frequency deflector (7) and of a direct voltage deflector (8),
after-accelerating the high frequency modulated electron beam (14) to electron beam pulses,
coupling out the high frequency energy via a power coupling (11).

17. Method according to claim 16, **characterized in that** the coupling out of the high frequency energy is effected via a coax cable head (24) which extends with an antenna (23) into a ring resonator space (27) which communicates with the high frequency energy-rich electron beam (14) via an annular gap (25) surrounding the electron beam (14).

18. Method according to claim 16 or claim 17, **characterized in that** the coupling out of the high frequency energy is effected via a hollow conductor which extends with a coupling antenna into a ring resonator space (27) which communicates with the high frequency energy-rich electron beam (14) via an annular gap surrounding the electron beam (14).

19. Method according to one of the claims 16 to 18, **characterized in that** the coupling out of the high frequency energy is effected via a hollow conductor which is connected to a ring resonator (27) via a coupling window,
wherein the resonator (15) communicates with the electron beam (14) via an annular gap (25) surrounding the electron beam (14).

20. Method according to one of the claims 16 to 19, **characterized in that** an electron beam (14) with high space charge constant according to the child-langmuir-equation is generated with an electron beam gun (6) with an electron beam from 20 A to 60 A, preferably 30 A to 50 A, at an acceleration voltage (U_0) of 20 kV to 60 kV, preferably 30 kV to 50 kV.

21. Method according to one of the claims 16 to 20, **characterized in that** the electron beam (14) is stabilised transversally by means of a longitudinal magnetic field in the brillouin-equilibrium.

22. Method according to one of claims 16 to 21, **characterized in that** the intensity modulated electron beam (14) excites a narrow band HF-resonator in the output circuit at an operating frequency (f).

23. Method according to one of the claims 16 to 22, **characterized in that** the electron beam (14) passes through a homogeneous transversally aligned electric alternating field (20).

5

24. Method according to one of the claims 16 to 23, **characterized in that** between 50 % and 80 % of the electron beam energy is deflected from the electron beam axis (5).

10

25. Method according to one of the preceding claims 16 to 24, **characterized in that** the deflected part of the electron beam is caught in a biased collector (9) with opposing field from -30 kV to -40 kV at an approximately constant electron energy from 30 keV to 50 keV.

15

26. Method according to one of the claims 16 to 25, **characterized in that** the energy of the caught electrons is collected in a collector (9) with opposing field and delivered to the cathode of the electron beam gun (6) as charging current.

20

27. Method according to one of claims 16 to 26, **characterized in that** the none-deflected electron packets are moved along the electron beam axis (14) in the time distance of an operating frequency (f) and enter into an output circuit (21) of the apparatus, which is designed as a resonator (15), at a main acceleration voltage between 200 and 400 kV.

25

30

28. Method according to one of the claims 16 to 27, **characterized in that** a resonator (15) starts up in the output circuit (21) of the apparatus, wherein high frequency fields in the resonator (15) absorb the energy of the electrons, decelerate them and feed an output conduction, preferable a coax cable head (24), and/or a hollow conductor.

35

29. Method according to one of the claims 16 to 28, **characterized in that** a remaining energy of the electrons is delivered in a main collector (13).

40

30. Method according to one of the claims 16 to 29, **characterized in that** for an electronic deflection in the high frequency deflector (7) for an operating frequency (f) the controlled high frequency signal consists of a main component at the frequency (f/2) and superposition of the frequency (5f/2) with an amplitude ratio of 5:1.

45

50

31. Method for accelerating ion beams which is executed with an apparatus comprising

- an ion accelerator tank (1) with a central recipient axis (2) for guiding and accelerating of a pulsed ion beam (14) in the recipient axis (2) and
- a device (4) for forming and amplifying electron

55

beam pulses with an electron beam axis (5) for microstructuring and amplifying of current pulses for the supply of the apparatus for ion beam acceleration with high frequency power, wherein

- the device (4) for forming and amplifying electron beam pulses is arranged with its electron beam axis (5) transverse and shifted to the recipient axis (2) and generates outside of the ion accelerator tank (1) an electron beam (14) with an electron gun (6), and
- deflects by means of a high frequency deflector (7) and of a direct voltage deflector (8) more than 50 % of the electron beam current in a collector (9) with opposing field at frequencies from 100 MHz to 400 MHz in a clocked way for microstructuring the electron beam (14), and
- an after-accelerator (10) introduces the electron beam (14) in the ion accelerator tank (1) at an acceleration voltage of several 100 Kilovolt, preferably at 200 to 400 Kilovolt, and
- accelerates the ion beam (3) via a power coupling (11).

32. Method according to claim 31, **characterized in that** the electron beam (14) is subject to an intensity modulation corresponding to the operating frequency (f) of the ion beam (3).

33. Method according to claim 31 or 32, **characterized in that** the collector (9) with opposing field receives up to 80 % of the electron beam energy.

Revendications

1. Dispositif de formation et d'amplification d'impulsion de faisceau électronique, avec

- (a) un canon à électrons (6),
- (b) un déflecteur à haute fréquence (7),
- (c) un déflecteur à tension continue (8),
- (d) un collecteur à champ contraire (9),
- (e) un post-accélérateur (10)
- (f) un coupleur de puissance (11) pour le couplage de la puissance du faisceau électronique (14) à un récepteur (12), et
- (g) un collecteur principal (13) pour capturer la puissance résiduelle du faisceau électronique (14),

où les composants de dispositif (a) à (g) sont disposés successivement dans la direction du faisceau électronique (14).

2. Dispositif selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** le récepteur (12) est une antenne (23) d'une extrémité de câble coaxial (24), laquelle pénètre dans un résonateur (15) couplé au faisceau électro-

nique (14) par une fente annulaire (25) entourant ledit faisceau électronique (14).

3. Dispositif selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** le récepteur (12) est un coupleur d'antenne d'un conducteur creux, ledit coupleur d'antenne pénétrant dans un résonateur (15) entourant le faisceau électronique (14) par une fente annulaire (25).

4. Dispositif selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** le récepteur (12) est une fenêtre de couplage vers un conducteur creux, la fenêtre de couplage s'ouvrant vers un résonateur (15) entourant le faisceau électronique (14) par une fente annulaire (25).

5. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce que** le canon à faisceau d'électrons (6) est un canon à faisceau d'électrons de type Pierce.

6. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 5, **caractérisé en ce que** le déflecteur à haute fréquence (7) comprend un champ alternatif (20) homogène à direction transversale.

7. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 6, **caractérisé en ce que** le déflecteur à tension continue (8) comprend un champ électrique (19) transversal inhomogène temporellement constant.

8. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 7, **caractérisé en ce que** le coupleur de puissance (11) comprend un résonateur (15) dans son circuit de sortie (21).

9. Dispositif selon la revendication 8, **caractérisé en ce que** le circuit de sortie (21) comprend une cavité (26) annulaire à une fente en tant que résonateur (15).

10. Dispositif d'accélération de faisceau ionique, comprenant :

(A) un réservoir d'accélération ionique (1) avec un axe de réservoir central (2) pour le guidage et l'accélération d'un faisceau ionique pulsé (3) dans l'axe de réservoir (2),

(B) un dispositif de formation et d'amplification d'impulsion de faisceau électronique (4) selon l'une des revendications 1, 5 à 9, avec un axe de faisceau électronique (5) pour la microstructuration et l'amplification d'impulsions de courant pour l'alimentation en puissance à haute fréquence du dispositif d'accélération de faisceau ionique, où

le dispositif de formation et d'amplification d'impulsion de faisceau électronique (4) est disposé de ma-

nière que son axe de faisceau électronique (5) soit perpendiculaire et décalé par rapport à l'axe de réservoir (2) et comprenne à l'extérieur du réservoir d'accélération ionique (1)

- (a) un canon à électrons (6),
 - (b) un déflecteur à haute fréquence (7),
 - (c) un déflecteur à tension continue (8),
 - (d) un collecteur à champ contraire (9), et
 - (e) un post-accélérateur (10)
- et à l'intérieur du réservoir d'accélération ionique
- (f) un coupleur de puissance (11) pour le couplage de la puissance du faisceau électronique (14) à un récepteur (12),
 - (g) un collecteur principal (13) pour capturer la puissance résiduelle du faisceau électronique (14),

le récepteur (12) étant le faisceau ionique pulsé (3).

11. Dispositif selon la revendication 10, **caractérisé en ce que** le coupleur de puissance (11) comprend un résonateur (15) avec une fente annulaire supérieure (16) entourant radialement le faisceau électronique (14) et avec une fente annulaire inférieure (17) entourant radialement le faisceau électronique (14) dans le réservoir d'accélération ionique (1).

12. Dispositif selon l'une des revendications 10 à 11, **caractérisé en ce que** le coupleur de puissance (11) comprend un étage de couplage (18) situé entre des fentes annulaires (16, 17), qui entoure coaxialement le faisceau électronique (14) et est disposé radialement décalé et transversalement par rapport au faisceau ionique (3) à l'intérieur du réservoir d'accélération ionique (1), ledit étage de couplage (18) étant fixé sur un support de tube de glissement (19) du faisceau ionique (3).

13. Dispositif amplificateur de puissance à haute fréquence, en particulier pour l'alimentation en puissance à haute fréquence d'un dispositif d'accélération de faisceau ionique avec une cavité, comprenant :

un réservoir à vide avec un axe de réservoir central pour la génération et l'accélération d'un faisceau électronique pulsé (14) le long de l'axe de réservoir, où

un dispositif de formation et d'amplification d'impulsion de faisceau électronique (4) selon la revendication 1 est disposé de manière que son axe de faisceau électronique (5) soit perpendiculaire et décalé par rapport à un axe de réservoir (2) d'un réservoir d'accélération ionique (1) et comprenne à l'extérieur du réservoir d'accélération ionique (1)

- (a) un canon à électrons (6),
 (b) un déflecteur à haute fréquence (7),
 (c) un déflecteur à tension continue (8),
 (d) un collecteur à champ contraire (9), et
 (e) un post-accélérateur (10)
 et à l'intérieur du réservoir d'accélération ionique
 (f) une première ainsi qu'une deuxième fente pour le couplage de la puissance du faisceau électronique (14) au faisceau ionique (3), et
 (g) un collecteur principal (13) pour capturer la puissance résiduelle du faisceau électronique (14).
14. Dispositif selon la revendication 13, **caractérisé en ce qu'un** circuit de sortie comprend un coupleur de puissance pour injection dans un guide d'ondes.
15. Dispositif selon la revendication 14, **caractérisé en ce que** le circuit de sortie est exécuté comme cavité à une fente.
16. Procédé de formation et d'amplification d'impulsion de faisceau électronique, comprenant les étapes suivantes :
- génération d'un faisceau électronique (14) au moyen d'un canon à faisceau d'électrons (6), exposition du faisceau électronique (14) à un champ alternatif transversal à haute fréquence (20) en déviant simultanément le faisceau électronique (14) sous haute fréquence, déflexion sous haute fréquence d'une part allant jusqu'à 80 % de l'énergie du faisceau électronique, vers un collecteur (9) à champ contraire, au moyen d'un déflecteur à haute fréquence (7) et d'un déflecteur à tension continue (8), post-accélération du faisceau électronique (14) modulé sous haute fréquence, pour former des impulsions de faisceau électronique, découplage de l'énergie à haute fréquence par un coupleur de puissance (11).
17. Procédé selon la revendication 16, **caractérisé en ce que** le découplage de l'énergie à haute fréquence est réalisé par une extrémité de câble coaxial (24) pénétrant avec une antenne (23) dans un compartiment de résonateur annulaire (27) qui communique avec le faisceau électronique (14) à haute fréquence riche en énergie par une fente annulaire (25) entourant ledit faisceau électronique (14).
18. Procédé selon la revendication 16 ou la revendication 17, **caractérisé en ce que** le découplage de l'énergie à haute fréquence est réalisé par un conducteur creux pénétrant avec une antenne de couplage dans un compartiment de résonateur annulaire (27) qui communique avec le faisceau électronique (14) à haute fréquence riche en énergie par une fente annulaire (25) entourant ledit faisceau électronique (14).
19. Procédé selon l'une des revendications 16 à 18, **caractérisé en ce que** le découplage de l'énergie à haute fréquence est réalisé par un conducteur creux raccordé à un résonateur annulaire (27) par une fente de couplage, le résonateur (15) communiquant avec le faisceau électronique (14) par une fente annulaire (25) entourant ledit faisceau électronique (14).
20. Procédé selon l'une des revendications 16 à 19, **caractérisé en ce qu'un** faisceau électronique (14) à constante de charge d'espace élevée est généré conformément à la loi de Child-Langmuir par un canon à faisceau d'électrons (6) avec un faisceau électronique compris entre 20 A et 60 A, de préférence entre 30 A et 50 A, pour une tension d'accélération (U_C) comprise entre 20 kV et 60 kV, de préférence entre 30 kV et 50 kV.
21. Procédé selon l'une des revendications 16 à 20, **caractérisé en ce que** le faisceau électronique (14) est stabilisé transversalement en équilibre Brillouin au moyen d'un champ magnétique longitudinal.
22. Procédé selon l'une des revendications 16 à 21, **caractérisé en ce que** le faisceau électronique (14) modulé en intensité excite un résonateur HF à bande étroite dans le circuit de sortie à une fréquence de service (f).
23. Procédé selon l'une des revendications 16 à 22, **caractérisé en ce que** le faisceau électronique (14) traverse un champ électrique alternatif (20) homogène à direction transversale.
24. Procédé selon l'une des revendications 16 à 23, **caractérisé en ce qu'une** part d'énergie du faisceau électronique comprise entre 50 % et 80 % est déviée de l'axe de faisceau électronique (5).
25. Procédé selon l'une des revendications 16 à 24, **caractérisé en ce que**, pour une énergie des électrons sensiblement constante comprise entre 30 keV et 50 keV dans un collecteur (9) polarisé à champ contraire de -30 kV à -40 kV, la part dérivée du faisceau électronique est capturée.
26. Procédé selon l'une des revendications 16 à 25, **caractérisé en ce que** l'énergie d'électrons capturés est recueillie dans un collecteur (9) à champ contraire et délivrée au canon à faisceau d'électrons (6) en tant que courant de charge de la cathode.

27. Procédé selon l'une des revendications 16 à 26, **caractérisé en ce que** les paquets d'électrons non dérivés sont déplacés le long de l'axe du faisceau électronique (14) à intervalle temporel d'une fréquence de service (f), et pénètrent avec une tension d'accélération principale comprise entre 200 et 400 kV dans un circuit de sortie (21) du dispositif réalisé comme résonateur (15). 5
28. Procédé selon l'une des revendications 16 à 27, **caractérisé en ce qu'un** résonateur (15) est amorcé dans le circuit de sortie (21) du dispositif, des champs à haute fréquence capturant l'énergie des électrons dans le résonateur (15), freinant celle-ci et alimentant une ligne de sortie, de préférence une extrémité de câble coaxial (24) et/ou un conducteur creux. 10
29. Procédé selon l'une des revendications 16 à 28, **caractérisé en ce qu'une** énergie résiduelle des électrons est délivrée à un collecteur principal (13). 15
30. Procédé selon l'une des revendications 16 à 29, **caractérisé en ce que**, pour une déviation électronique dans le déflecteur à haute fréquence (7) pour une fréquence de service (f), le signal à haute fréquence commandé est constitué d'un composant principal à la fréquence (f/2) et d'une superposition de la fréquence (5f/2) avec un rapport d'amplitude 5:1. 25
31. Procédé d'accélération de faisceau ionique, exécuté avec un dispositif comprenant : 30
- un réservoir d'accélération ionique (1) avec un axe de réservoir central (2) pour le guidage et l'accélération d'un faisceau ionique pulsé (14) dans l'axe de réservoir (2), et 35
 - un dispositif de formation et d'amplification d'impulsion de faisceau électronique (4) avec un axe de faisceau électronique (5) pour la microstructuration et l'amplification d'impulsions de courant pour l'alimentation en puissance à haute fréquence du dispositif d'accélération de faisceau ionique, où 40
 - le dispositif de formation et d'amplification d'impulsion de faisceau électronique (4) est disposé de manière que son axe de faisceau électronique (5) soit perpendiculaire et décalé par rapport à l'axe de réservoir (2) et génère un faisceau électronique (14) au moyen d'un canon à électrons (6) à l'extérieur du réservoir d'accélération ionique (1), et où 45
 - au moyen d'un déflecteur à haute fréquence (7) et d'un déflecteur à tension continue (8), plus de 50 % du courant de faisceau électronique sont cycliquement dérivés vers un collecteur (9) à champ contraire à des fréquences comprises entre 100 MHz et 400 MHz pour la microstruc- 50
- turation du faisceau électronique (14), et où
- un post-accélérateur (10) guide le faisceau électronique (14) vers le réservoir d'accélération ionique (1) sous une tension d'accélération de plusieurs centaines de Kilovolts, de préférence comprise entre 200 et 400 Kilovolts, et
 - accélère le faisceau ionique (3) via un coupleur de puissance (11).
32. Procédé selon la revendication 31, **caractérisé en ce que** le faisceau électronique (14) est soumis à une modulation d'intensité qui correspond à la fréquence de service (f) du faisceau ionique (3). 55
33. Procédé selon la revendication 31 ou la revendication 32, **caractérisé en ce que** le collecteur (9) à champ contraire capture jusqu'à 80 % de l'énergie du faisceau électronique.

Fig. 1.

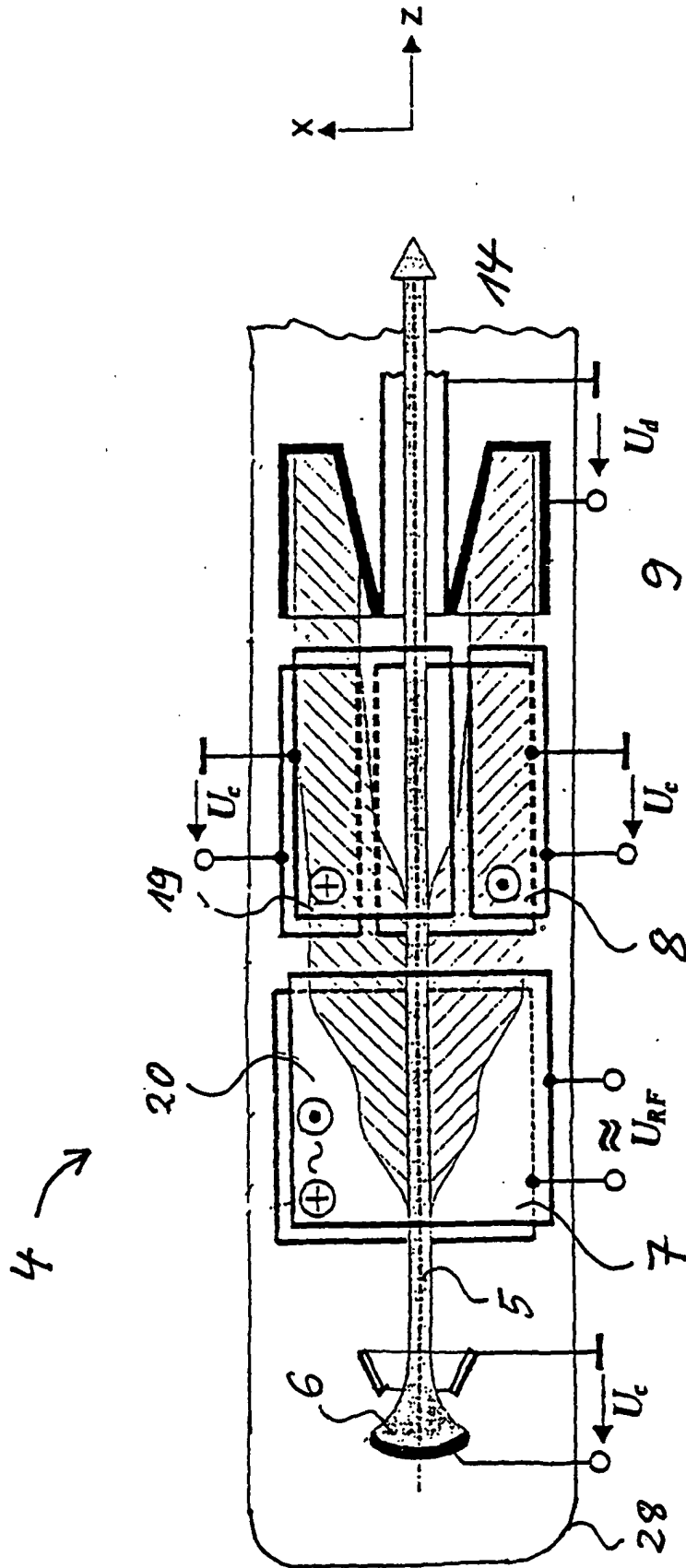


Fig. 2

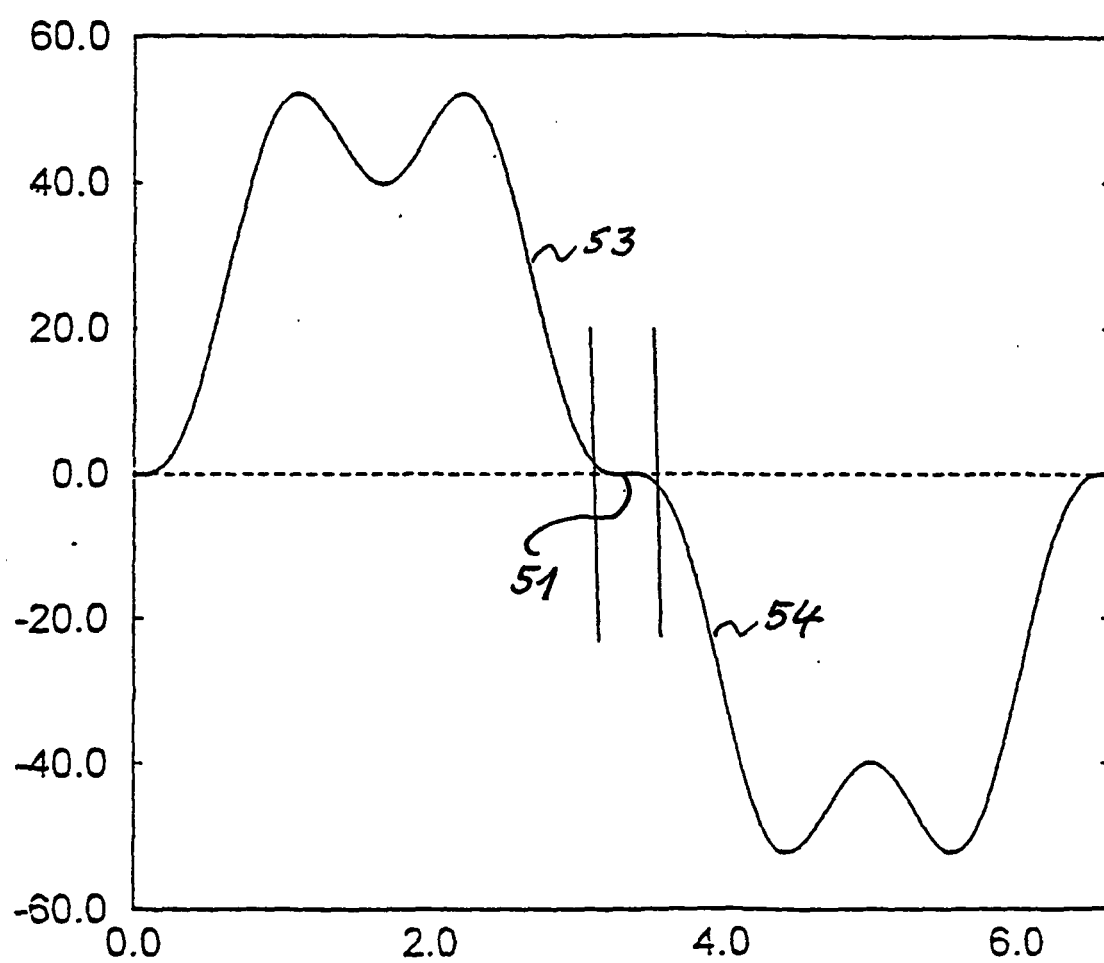


Fig. 3

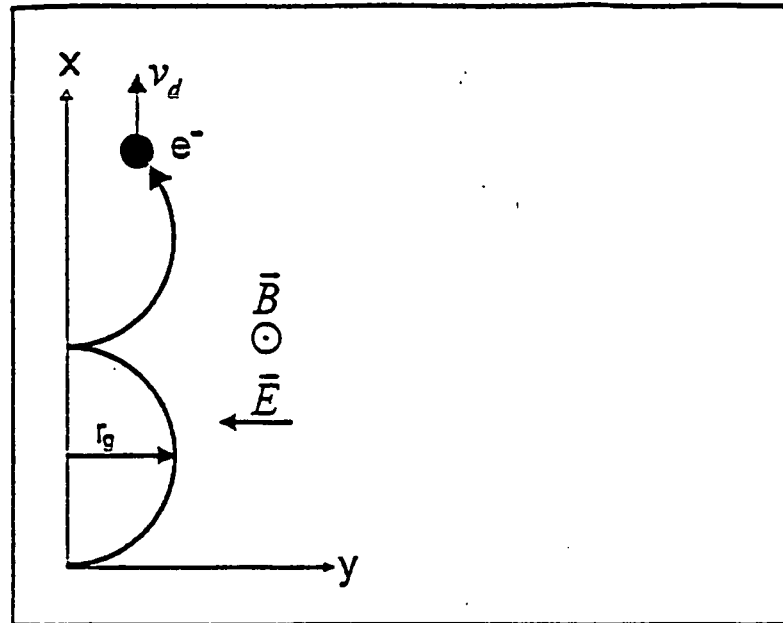


Fig. 4a

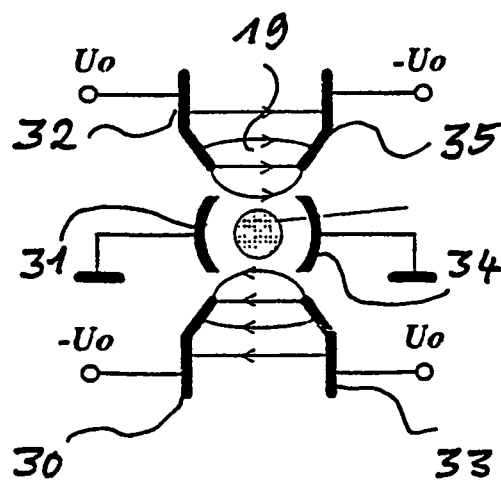


Fig. 4b

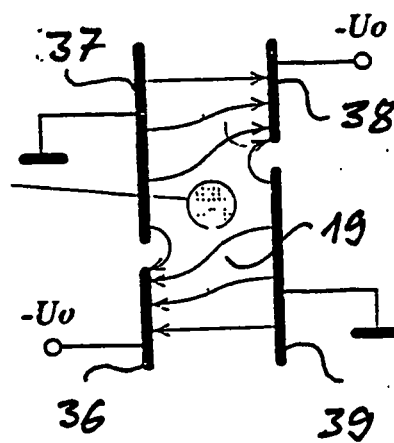


Fig. 5

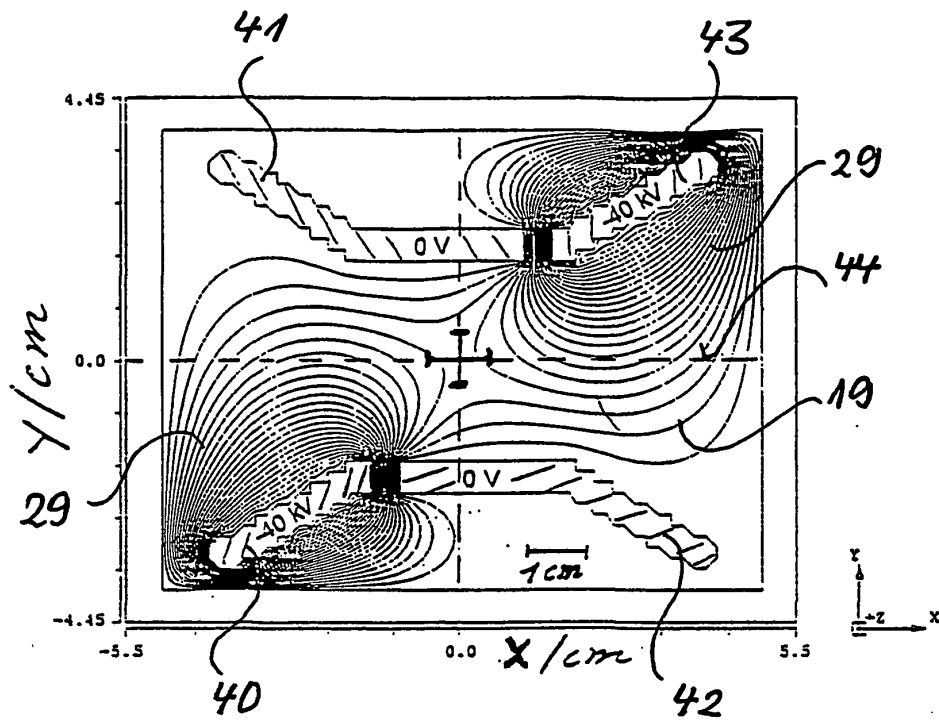


Fig. 6

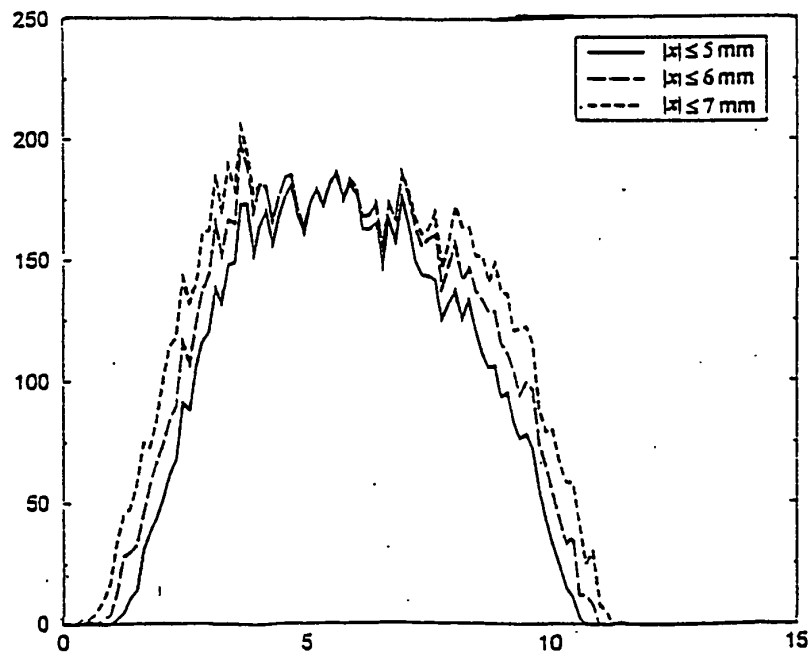


Fig. 7

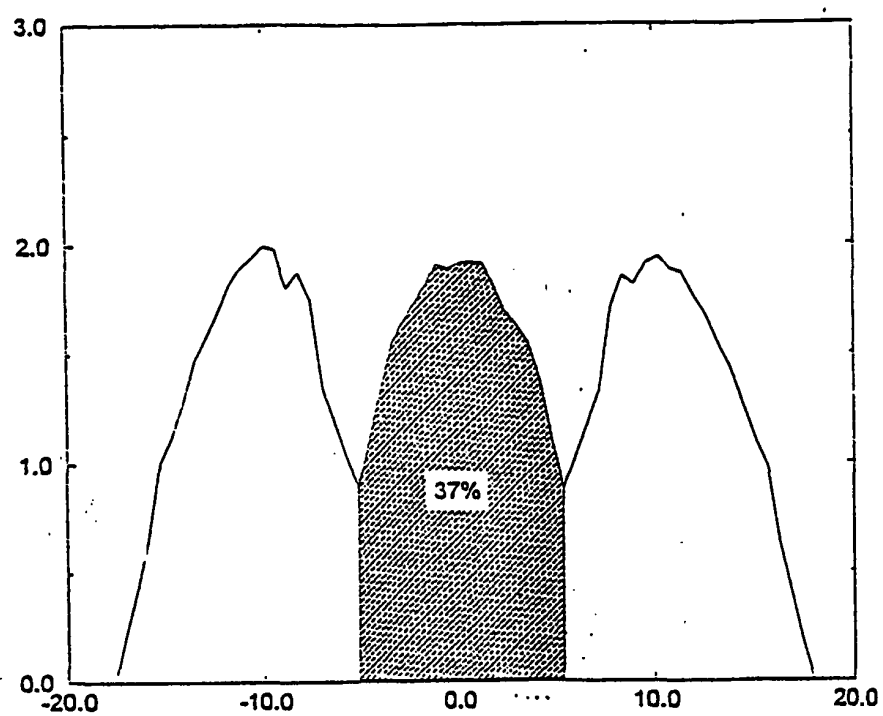


Fig. 8

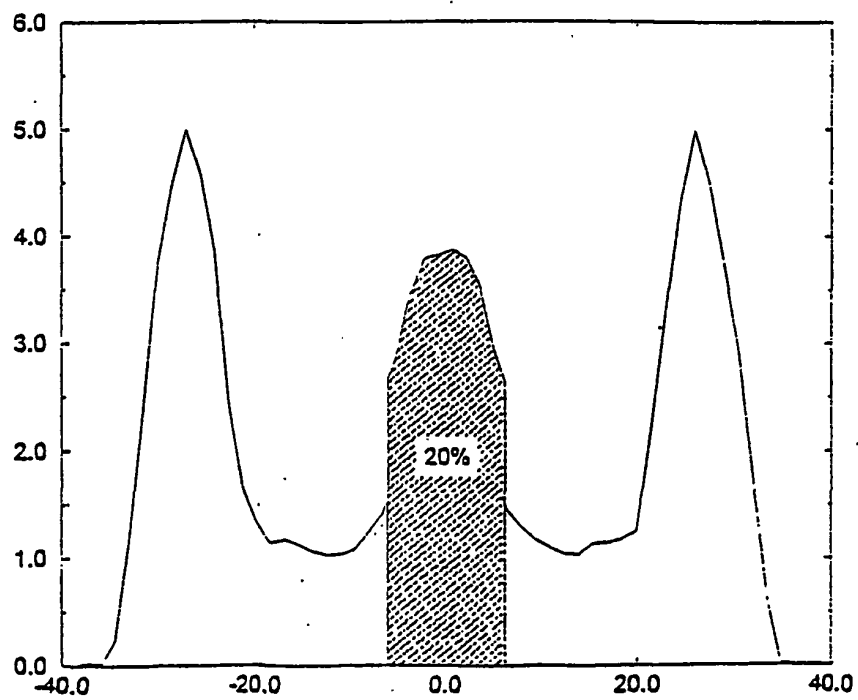


Fig. 9

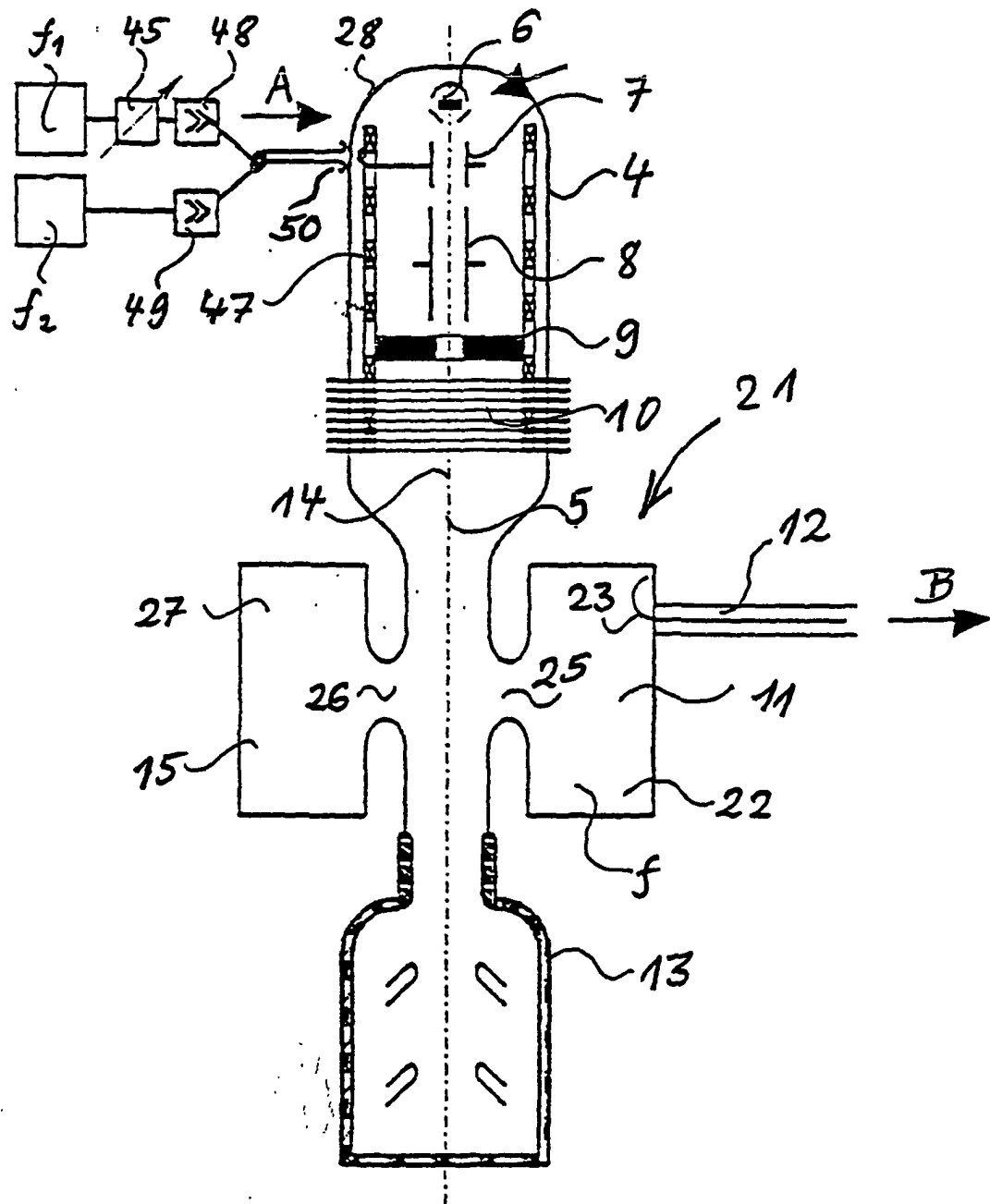
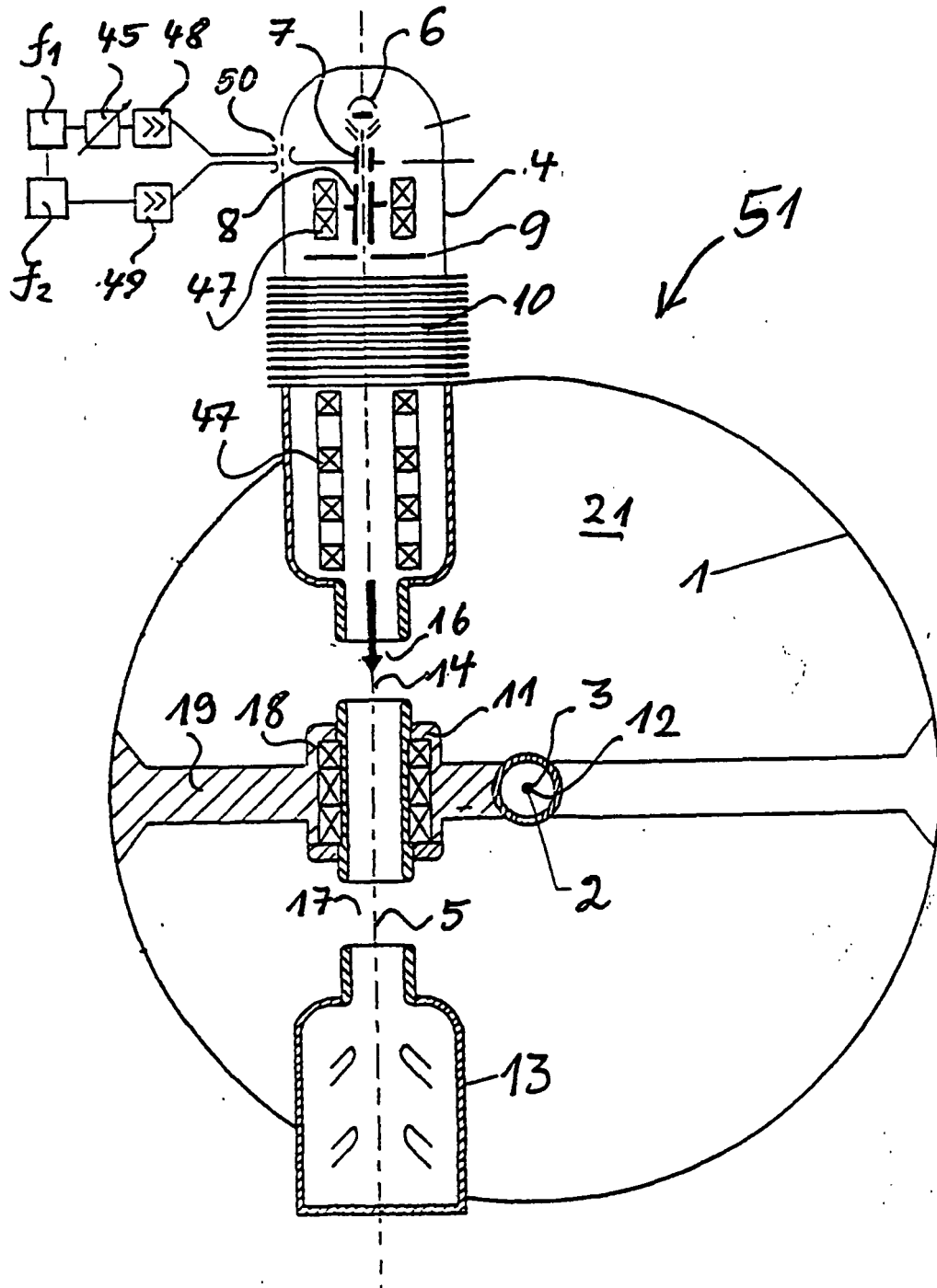


Fig. 10



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 Patentdokumente

- EP 0587481 A [0004]
- US 5497053 A, SWYDEN THOMAS [0004]
- SU 777754 A [0004]

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- **LORING C JR et al.** The Klysterode, a new high power electron tube for UHF industrial application. *JOURNAL OF MICROWAVE POWER AND ELECTROMAGNETIC ENERGY*, 1993, vol. 28 (3), 174-182 [0004]