CH 650 878 A5

(19) SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) CH 650 878 A5

(51) Int. Cl.[4]: H 01 J 25/02
H 01 J 23/09

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein
Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) PATENTSCHRIFT A5

(21) Gesuchsnummer: 10238/79

(22) Anmeldungsdatum: 16.11.1979

(30) Priorität(en): 24.11.1978 US 963495

(24) Patent erteilt: 15.08.1985

(45) Patentschrift veröffentlicht: 15.08.1985

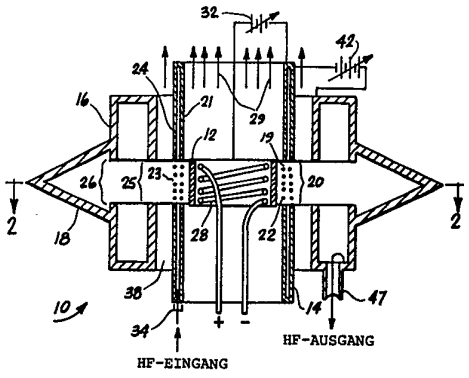
(73) Inhaber:
United States Department of Energy, Washington/DC (US)

(72) Erfinder:
Lebacqz, Jean Victor, Stanford/CA (US)

(74) Vertreter:
Dr. Mario Pozzi, Lugano

(54) HF-Trioden-Verstärker mit rotierendem Strahl.

(57) Der Rotationsstrahl-HF-Verstärker (10) besteht aus einer Kathode (12) zur Erzeugung von Elektronen, HF-Eingangsmitteln (14, 34) zur Bildung der Elektronen in einen Strahl mit Hilfe von elektrischen und/oder magnetischen Vorspannmitteln (32, 29) und zur Drehung des Strahls (36) um die Kathode (12), Mitteln (42) zum Zuführen von Energie zu dem Strahl während seiner Drehung und Ausgangsmitteln (16, 47) zum Entnehmen von Energie aus dem Strahl.



PATENTANSPRÜCHE

1. Rotationsstrahl-HF-Verstärker (10), gekennzeichnet durch eine zylindrische Kathode (12 oder 50) mit einer äusseren flächenförmigen Oberfläche zur Erzeugung von Elektronen, HF-Wellenleitereingangsmittel (14 und 34) zur Bildung der Elektronen in einen Strahl (36) und zur Rotation des Strahls um obenerwähnte Kathode, Mittel zum Zuführen von Energie (42) zum erwähnten Strahl während der Rotation und Ausgangsmittel (16 und 47) zum Entnehmen von Energie aus dem Strahl (36).

2. Verstärker nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die genannten Wellenleitereingangsmittel einen kreisringförmigen Wellenleiter (14), der koaxial zur Kathode (12) angeordnet ist, aufweisen, dass der Wellenleiter eine Innenwand (21) und eine Aussenwand (24) besitzt, wobei jede der Wände im Mittelabschnitt (19 und 20) einen Durchgang für Elektronen besitzt.

3. Verstärker nach Anspruch 2, gekennzeichnet durch Mittel zum Erhitzen (28) der Kathode (12) zur Erzeugung einer Elektronenwolke (30) um die Kathode herum, wobei die erwähnte Kathode innerhalb der Wellenleiter (14) angeordnet ist.

4. Verstärker nach Anspruch 3, gekennzeichnet durch Vorspannmittel (32 und/oder 29) zum Einschliessen der Elektronenwolke (30) im Raum zwischen der Kathode (12) und dem Wellenleiter (14) und zur Steuerung der Winkelbreite und Grösse des Strahls (36).

5. Verstärker nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die genannten Mittel (32) Vorspannmittel zur Erzeugung eines elektrischen Feldes aufweisen.

6. Verstärker nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die genannten Mittel Vorspannmittel zur Erzeugung eines magnetischen Feldes (29) aufweisen.

7. Verstärker nach Anspruch 2, gekennzeichnet durch je ein Gitter (22 und 23) im Mittelabschnitt (19 und 20) der inneren (21) bzw. äusseren (24) Wand des Wellenleiters (14).

8. Verstärker nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Aussenoberfläche der Kathode (50) mit der Innenwand (21) des Wellenleiters zusammenfällt und innerhalb des Mittelabschnittes (19) der Innenwand liegt.

9. Verstärker nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Mittel zum Zuführen von Energie zum Strahl eine Gleichspannungsquelle (42) aufweisen, die zwischen den Wellenleitereingangsmitteln (14) und den Ausgangsmitteln (16) liegt.

Die Erfindung bezieht sich auf einen HF-Trioden-Verstärker mit rotierendem Strahl. Allgemein bezieht sich die Erfindung auf HF-Verstärker, und zwar insbesondere auf einen mit hohem Wirkungsgrad arbeitenden Hochleistungs-HF-Verstärker unter Verwendung eines rotierenden Elektronenstrahls.

HF-Verstärker mit rotierendem Strahl sind bereits bekannt. Vgl. dazu die US-Patente 2 408 437, 3 219 873 und 3 885 193. Derartige Vorrichtungen sind zur Erzeugung sehr hoher Pegel brauchbar, wie sie in Beschleunigern, Speicherringen und Fusionsvorrichtungen erforderlich sind. Bei diesen Hochleistungspegeln ist der Wirkungsgrad von grösster Bedeutung. Paul J. Tallerico zeigt in einem Bericht «A Class of Deflection-Modulated, High-Power Microwave Amplifier», dass elektronische Wirkungsgrade von 80 bis 90% für HF-Verstärker mit rotierendem Strahl erreichbar sind. Bei diesen bekannten Anordnungen werden Elektronen in einem Strahl von einer Kathode emittiert, der Strahl wird beschleunigt und sodann abgelenkt, um Rotation hervorzurufen, so dass der Strahl eine im ganzen konische Form beschreibt. Der Strahl trifft dann auf einen ringförmigen Ausgangshohlraum auf, der einen Schlitz zur Aufnahme des Elektronenstrahls besitzt, wodurch ein Ausgangssignal darin erzeugt wird. Bei einigen dieser Anordnungen sind zusätzlich statische Ablenkmittel vorgesehen, die magnetischer oder kapazitiver Natur sein können, um den Strahl genauer in den Schlitz im Ausgangshohlraum zu lenken. Mehrere Probleme werden jedoch durch diese konischen Strahlanordnungen hervorgerufen. Dem Strahl wird seine Rotation durch zwei Paare von Ablenkfedern erteilt, die quadraturmässig (90° Verschiebung) angeordnet sind und in Phasenquadratur (mit 90° Phasenverschiebung) betrieben werden, um dem Strahl die kreisförmige Rotation zu vermitteln, so dass dieser den Hohlraumschlitz durchläuft. Bei einer derartigen Anordnung ist es schwierig, dem Strahl eine genaue kreisförmige Bewegung zu vermitteln und trotzdem den Strahl im Brennpunkt zu halten, so dass er genau durch den Schlitz läuft. Zusätzlich magnetische oder kapazitive Ablenk- oder Biegemittel sind im Stand der Technik zur besseren Fokussierung des Strahls vorgesehen. Da jedoch der Strahl ein «steifer», eine sehr hohe Energie aufweisender Strahl ist, wird das Biegen mittels unbequem grosser Mittel, wie beispielsweise eines Hochleistungselektromagnets, eines grossen permanenten Magnets oder einer grossen Kapazitätsanordnung mit zugehöriger Leistungsversorgung, erreicht. Darüber hinaus hat diese Biegung eine Strahlausbreitung insbesondere bei hohen Leistungspegeln zur Folge.

Kurz gesagt bezieht sich die Erfindung auf einen HF-Verstärker mit Rotationsstrahl der im Patentanspruch 1 definierten Art.

Ziel der Erfindung ist es, HF-Frequenzen mit höchstem Wirkungsgrad auf sehr hohe Leistungspegel zu verstärken. Ein weiteres Ziel der Erfindung besteht darin, die Schwierigkeiten, die bei der Ablenkung und Fokussierung des HF-Strahls bei bekannten HF-Verstärkern der Rotationsstrahl-Bauart auftreten zu beseitigen. Ein weiteres Ziel der Erfindung besteht darin, eine geometrische Anordnung eines HF-Verstärkers mit Rotationsstrahl zu schaffen, die hohe Leistungspegel mit minimalem baulichen Aufwand ermöglicht, der noch zudem einfach herzustellen ist, geringe Kosten verursacht und eine Optimierung der Parameter leicht gestattet. Ein weiteres Ziel der Erfindung besteht darin, HF-Frequenzen mit Wirkungsgraden oberhalb 80% zu verstärken. Ein weiteres Ziel der Erfindung besteht darin, den Strahl in einem Rotationsstrahl-HF-Verstärker mittels eines HF-Feldes in Umdrehung zu setzen, welches sich durch einen Mikrowellenhohlraumring fortpflanzt.

Weitere Vorteile, Ziele und Einzelheiten ergeben sich insbesondere aus den Ansprüchen sowie aus der nachstehenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen der Erfindung anhand der Zeichnung; in der Zeichnung zeigt:

Fig. 1 einen Querschnitt durch eine erfindungsgemässe HF-Verstärker-Triode mit Drehstrahl;

Fig. 2 eine Draufsicht auf den Verstärker der Fig. 1 von der Linie 2–2 aus gesehen;

Fig. 3 eine Teilansicht eines Triodendrehstrahlverstärkers, in dem eine «Multipactor»-Kathode verwendet wird, im Querschnitt.

Fig. 1 zeigt einen Trioden-Rotationsstrahl-HF-Verstärker 10 mit einer ringförmigen zylindrischen Kathode 12, einem Eingangswellenleiter 14, der eine Ringform mit einem grösseren Durchmesser als die Kathode aufweist und koaxial mit der Kathode angeordnet ist, einem Ausgangswellenleiter 16, der ringförmig ausgebildet ist und einen grösseren Durchmesser besitzt als der Eingangswellenleiter 14, und mit einem ringförmigen Kollektor 18, der koaxial um die Aussenwand des Ausgangswellenleiters 16 herum angeordnet ist. Der Eingangswellenleiter 14 ist im Mittelabschnitt der inneren Wand 21 und äusseren Wand 24 mit Schlitzen 19 bzw. 20 versehen,

die einander gegenüberliegend und mit der Aussenzylinderoberfläche der Kathode 12 ausgerichtet angeordnet sind. Gitter 22 und 23 sind innerhalb der Schlitze 19 und 20 befestigt und fallen elektrisch mit der Innenwand 21 bzw. Aussenwand 24 des Wellenleiters 14 zusammen. Der Ausgangswellenleiter 16 ist in der Innen- und Aussenwand mit Schlitzen 25 bzw. 26 ausgestattet, die mit der Kathode 12 und den Schlitzen 19 und 20 fluchten.

Beim Betrieb des Verstärkers kann die Kathode 12 beispielsweise mit einer Heizvorrichtung 28 auf ihre Elektronenemissionstemperatur erhitzt werden, wodurch eine Elektronenwolke 30 (Fig. 2) in dem Raum zwischen der Kathode und der Innenwand 21 des Wellenleiters 14 gebildet wird. Die Elektronen sind normalerweise in diesem Raum durch ein Gleichstromvorspannfeld 31 eingeschlossen, welches durch eine Quelle 32 erzeugt wird, die an Kathode 12 und Wellenleiter 14 liegt. Die Kathode 12 und der Eingangswellenleiter 14 können auch in ein axiales Vorspannmagnetfeld 29 zur weiteren Steuerung des Einschlusses der Elektronen in diesem Raum eingetaucht sein.

Die zu verstärkenden HF-Frequenzen werden an den Eingangswellenleiter 14 an HF-Eingangsverbindungen 33 und 34 angelegt, so dass ein HF-Eingangs-E-Feld 35 aufgebaut wird und eine Laufwelle im Leiter bildet. Die Länge des Eingangswellenleiters 14 wird derart gewählt, dass sie genau der Wellenlänge der zu verstärkenden HF-Welle entspricht. Auf diese Weise pflanzt sich die Eingangs-HF-Welle um den Leiter 14 herum fort, wobei eine halbe Welle das Vorspannfeld verstärkt und die andere Hälfte dem Vorspannfeld entgegenwirkt, und zwar in jedem speziellen Augenblick. Um die Periodenspitze der entgegengesetzten Halbwelle herum wird das Vorspannfeld in dem Ausmass überwunden, dass die Elektronen von der Wolke 30 in einen Strahl 36 beschleunigt werden. Die Quelle 32 kann zur Steuerung des Strahls 36 auf optimale Breite eingestellt werden. Eine andere Möglichkeit zur Einstellung der Breite des Strahls 36 auf seinen Optimalwert ist die Einstellung des Magnetfeldes 29. Auf diese Weise wird sowohl die Steuerung der Grösse als auch der Breite des Strahls 36 in einfacher Weise durch die Einstellung des elektrischen Gleichstrom-Vorspannfeldes 32 und des magnetischen Vorspannfeldes 29 erreicht. Da die Wände 21 und 24 des Leiters 14 mit Gittern 22 bzw. 23 ausgestattet sind, ist der Strahl 36 für den Durchgang durch den Leiter 14 in den Raum 38 zwischen der Leitern 14 und 16 frei. Ein Gleichstrombeschleunigungsfeld 40 (Fig. 2) wird im ganzen Raum 38 mittels einer Quelle 42 erzeugt, die an den Leitern 14 und 16 liegt. Die Elektronen im Strahl können durch das Feld 40 auf sehr hohe Energieniveaus oder Pegel beschleunigt werden. Der beschleunigte Strahl läuft durch die Schlitze 25 und 26 im Ausgangswellenleiter 16, wodurch eine HF-Ausgangsfrequenz in der Form einer Laufwelle im Leiter 16 gebildet wird. Der Leiter 16 wird derart gewählt, dass er eine Phasengeschwindigkeit besitzt, die gleich der Winkelgeschwindigkeit des Strahls 36 ist, so dass die Ausgangsfrequenz auf der Frequenz des Rotationsfeldes der Eingangsfrequenz liegt. Die induzierte Ausgangswelle wird aus dem Leiter 16 entnommen, um an eine Last über HF-Ausgangsklemmen 45 und 47 angelegt zu werden. Die Elektronen im Strahl 36 werden am Kollektor 18 gesammelt, nachdem der grösste Teil ihrer Energie im Leiter 16 entnommen wurde. Die Elektronen werden im Leiter 16 so weit verzögert, bis sie die Aussenwand des Leiters 16 mit einer Geschwindigkeit im wesentlichen gleich Null erreichen. Da auf diese Weise nahezu die gesamte Energie des Strahls 36 im Leiter 16 abgegeben wurde, hat der Verstärker 10 einen sehr hohen Wirkungsgrad.

Bei einem alternativen Ausführungsbeispiel der Erfindung kann es sich als zweckmässig herausstellen, den Wirkungsgrad des Verstärkers 10 weiter zu erhöhen, und zwar durch Verwendung einer «Multipactor»-Kathode an Stelle der thermionischen Kathode 12. Der Emissionswinkel der thermionischen Kathode kann bis zu 90° reichen, wohingegen der Emissionswinkel von den Eingangs-zu-Ausgangs-Wellenleitern für eine Multipactor-Kathode weniger als 5° beträgt. Der Verstärker 10 ist in Fig. 3 gezeigt und mit einer Multipactor-Kathode 50 ausgestattet, die einen solchen Durchmesser besitzt, dass die emittierende Oberfläche der Kathode 50 mit der Innenoberfläche der Wand 21 der Führung 14 zusammenfällt. Bei dieser Anordnung ist das Gitter 19 und die Vorspannquelle 32 nicht mehr erforderlich. Um die Multipactorwirkung aufrechtzuerhalten, kann das Material für die Oberfläche des Gitters 23 und die Kathode 50 aus verschiedenen Materialien bestehen, wie beispielsweise aus mit Nickel, Platin, Bariumoxyd, Strontium oder Calcium imprägnierten Materialien, Wolfram oder gesinderten Legierungen, und zwar werden diese Materialien so gewählt, dass eine Sekundäremission erzeugt wird, die grösser als die Emission zwischen dem Gitter 23 und der Kathode 50 oder der Kathode allein ist. Der Spalt zwischen den Wänden 21 und 24 wird derart gewählt, dass die Transit- oder Durchgangszeit die halbe Periode der HF-Eingangsfrequenz ist. Wahlweise kann die Kathode 50 eine thermionische Kathode statt der Multipactor-Kathode sein. Zudem kann es zweckmässig sein, unabhängig davon, ob die Kathode 50 eine thermionische oder eine Multipactor-Kathode ist, den aus der Kathode entnommenen Strom weiter zu steuern, insbesondere um die Breite und daher den Maximalstrom des Strahls 36 zu vergrössern, und zwar geschieht dies durch den Einschluss des Magnetfeldes 29.

In einem Ausführungsbeispiel der Erfindung zur Verstärkung von Frequenzen von 353 MHz zur Verwendung in dem Positron-Elektron-Projekt (PEP) am Stanford Linear Accelerator Center wurden die folgenden Abmessungen verwendet:

Kathode 12, Durchmesser	25–30 cm
Kathode 12, Wanddicke	6 mm
Kathode 12, Höhe	6–10 cm
Wellenleiter 14, Spalt	10 mm
Wellenleiter 14, Höhe	80 cm
Wellenleiter 14, Länge	100 cm
Breite der Schlitze 19 und 20	7,5–10 cm
Breite des Raums 38	19 mm
Wellenleiter 16, Spalt	10 cm
Wellenleiter 16, Höhe	50 cm
Wellenleiter 16, Länge	158 cm
Breite der Schlitze 25 und 26	7,5 cm
Aussendurchmesser des Kollektors 18	– cm
Bereich des Gleichvorspannungsfeldes 32	0–2000 V
Bereich des Magnetvorspannungsfeldes in Gauss	0–200
Bereich der Quelle 42	50–65 kV
HF-Leistungseingangsgrösse	10 kW
HF-Leistungsausgangsgrösse	600 kW

Abwandlungen der Erfindung sind möglich. Beispielsweise kann der Eingangswellenleiter 14 erregt werden, um ein ganzes Vielfaches der Eingangsfrequenz aufrechtzuerhalten, um mehr als einen Strahl von der Kathode zu bilden.

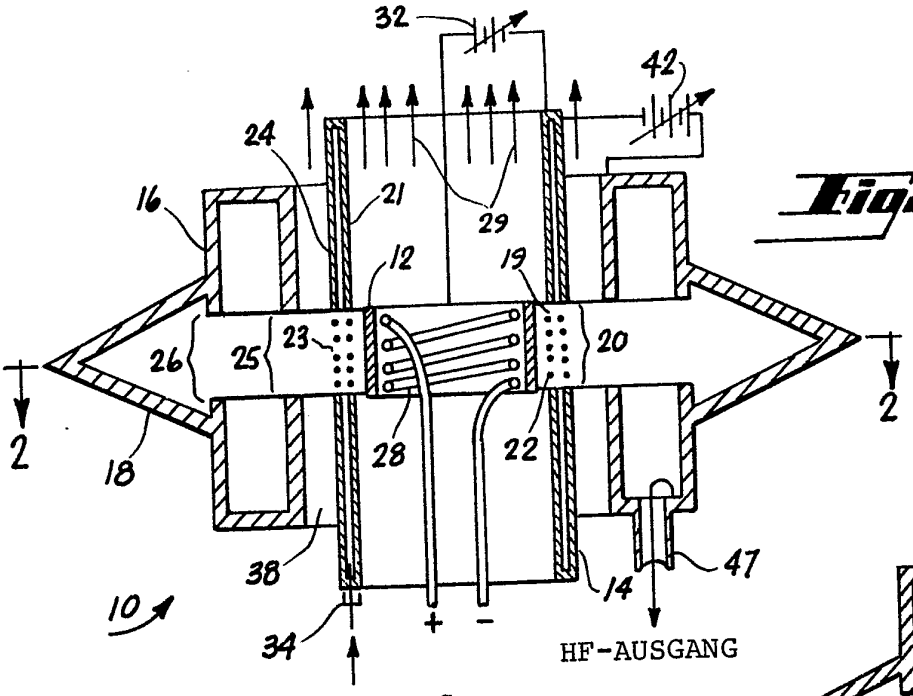


Fig.1

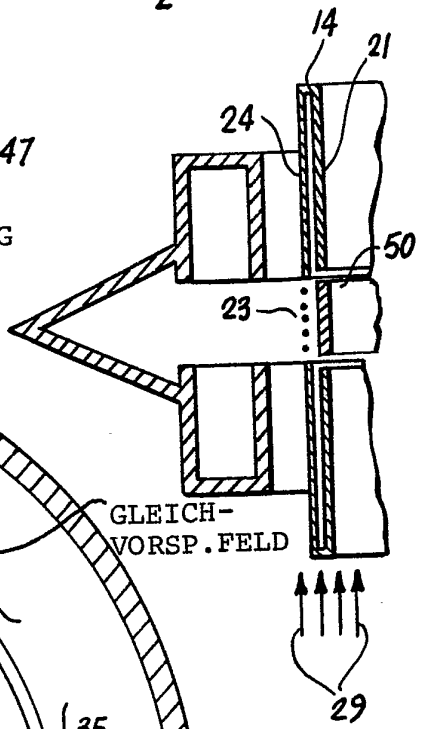


Fig.3

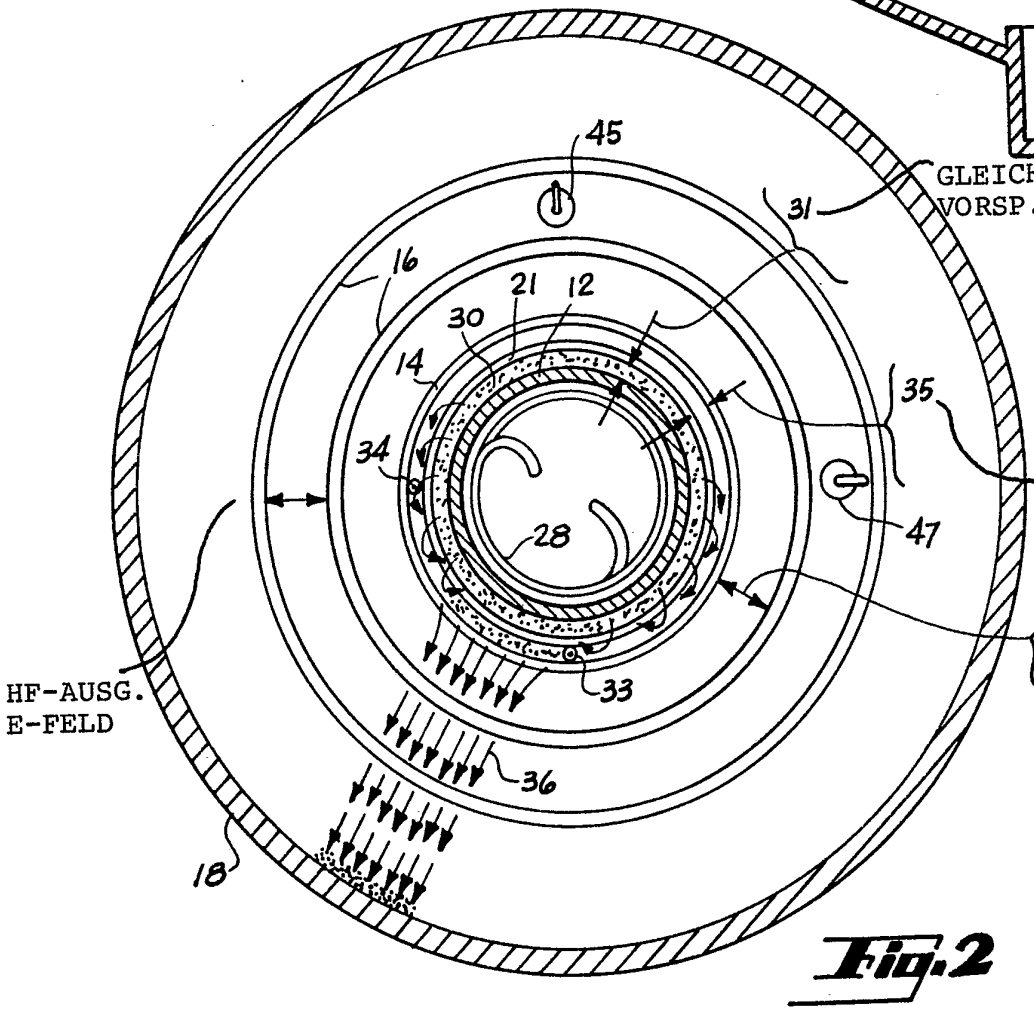


Fig.2