



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT  
BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

⑤ Int. Cl. 3: H 01 P 7/00  
H 05 H 7/02



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

⑫ PATENTSCHRIFT A5

⑪

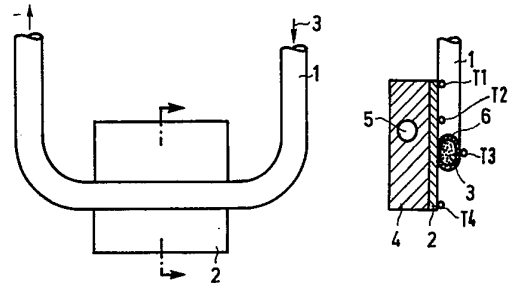
**637 505**

<p>⑰ Gesuchsnummer: 1901/79</p> <p>⑳ Anmeldungsdatum: 27.02.1979</p> <p>⑳ Priorität(en): 08.03.1978 DE 2809913</p> <p>㉔ Patent erteilt: 29.07.1983</p> <p>④⑤ Patentschrift veröffentlicht: 29.07.1983</p>	<p>⑦③ Inhaber: Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe 1 (DE)</p> <p>⑦② Erfinder: Laszlo Szecsi, Karlsruhe (DE)</p> <p>⑦④ Vertreter: Max Kieser, Zürich</p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

⑤④ **Einrichtung zum Kühlen eines supraleitenden HF-Resonators und Verfahren zu ihrer Herstellung.**

⑤⑦ Ein das Kühlmittel führendes Rohr (1) ist durch eine Diffusionsschweissverbindung mit der Wand des Resonators (2) wärmeleitend verbunden.

Unter Ausnützung der in jedem Fall erforderlichen Glühphase wird ohne wesentlichen zusätzlichen Arbeitsaufwand eine quasi doppelwandige Kühleinrichtung mit hoher Kühlwirkung hergestellt. Eine Druckänderung des Kühlmittels im Rohrsystem ändert die im Betrieb genau einzuhaltende Eigenfrequenz des Resonators nicht. Das Abdichten des Kühlsystems gegen das innerhalb und ausserhalb des Resonators bestehende Vakuum ist in besonders einfacher Weise möglich. Die Dichtheitsforderungen für die an die Oberfläche des Resonators angeflanschten Einrichtungen zum Ein- und Auskoppeln von HF-Energie können wesentlich herabgesetzt werden, weil die Flansche von flüssigem Helium frei bleiben.



## PATENTANSPRÜCHE

1. Einrichtung zum Kühlen eines supraleitenden HF-Resonators mit einem flüssigen Kühlmittel, dadurch gekennzeichnet, dass ein das Kühlmittel führendes Rohr (1) mit der Wand (2) des Resonators wärmeleitend verbunden ist, und dass die Verbindung der Resonatorwand (2) mit dem Kühlrohr (1) aus einer Diffusionsschweisssverbindung besteht.

2. Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Kühlrohr (1) mit der Aussenseite der Resonatorwand (2) verbunden ist.

3. Einrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Querschnitt des Kühlrohres (1) mindestens an seiner der Resonatorwand (2) zugewandten Seite die Form eines abgeflachten Kreises hat.

4. Einrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Resonatorwand (2) und das Kühlrohr (1) aus dem gleichen Werkstoff, vorzugsweise Niob, besteht.

5. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass der rohrförmige Mantel (10) eines zylinderförmigen, rotationssymmetrischen Resonators mit einem mäanderförmigen, im wesentlichen in Richtung der Resonatorachse orientierten ersten Kühlrohr (20) belegt ist, und dass jede der den rohrförmigen Mantel (10) an dessen Stirnseite abschliessenden Endplatten (13) symmetrisch zur Resonatorachse mit einem spiralförmigen zweiten Kühlrohr (15) belegt ist.

6. Einrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass der Mantel (10) des Resonators mit zwei zueinander parallel angeordneten mäanderförmigen ersten Kühlrohren belegt ist, in denen das Kühlmittel gegensinnig strömt.

7. Verfahren zum Herstellen der Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Querschnitt des Kühlrohres (1) mindestens auf der für die Verbindung mit der Resonatorwand (2) vorgesehenen Seite durch Drücken abgeflacht wird, dass das Kühlrohr (1) in seiner Form der Resonatorwand (2) angepasst wird, mit der eine Diffusionsschweisssverbindung herzustellen ist, dass das Kühlrohr (1) und die Resonatorwand (2) poliert und entfettet wird, dass Resonatorwand (2) und Kühlrohr (1) mit einem vorbestimmten Druck von mindestens  $0,4 \cdot 10^5$  Pa aneinander gepresst werden, und dass während des Pressens die Bauteile in einem Vakuumofen bei einem Druck von  $P \leq 10^{-5}$  Pa während einer vorbestimmten Zeit von zwei bis drei Stunden bei einer Temperatur von etwa 2100 K geglüht werden.

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass im Vakuumofen jede der Endplatten (13) des Resonators auf eine erste Niob-Platte (16) gelegt wird, die an ihrer der Endplatte (13) zugewandten Seite durch Sandstrahlen aufgeraut ist, dass auf die mit einem spiralförmigen Kühlrohr (15) belegte Endplatte (13) eine an beiden Seiten durch Sandstrahlen aufgeraute zweite Niobplatte (17) gelegt wird, und dass zum Einstellen des vorbestimmten Anpressdruckes die zweite Niobplatte mit an ihrer Unterseite durch Sandstrahlen aufgerauten Niobgewichten (18) belastet wird.

9. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass im Vakuumofen der mit einem mäanderförmigen Kühlrohr (20) belegte rohrförmige Mantel (10) des Resonators von einer aus Niob bestehenden mehrteiligen Presseinrichtung (21, 22) umschlossen wird, die an ihrer mit dem Kühlrohr (20) in Kontakt stehenden Innenseite durch Sandstrahlen aufgeraut ist, und dass zum Einstellen des vorbestimmten Anpressdruckes die horizontale Anordnung mit an ihrer Unterseite aufgerauten Niobgewichten (23) belastet wird.

Die Erfindung betrifft eine Einrichtung nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 und ein Verfahren zum Herstellen dieser Einrichtung.

Supraleitende Resonatoren werden z.B. zum Beschleunigen und Ablenken von Teilchen eingesetzt, weil derartige Einrichtungen eine bedeutende Einsparung an Energie bewirken können. Zum Einstellen und Aufrechterhalten des supraleitenden Zustandes müssen die supraleitenden Strukturen mit einem Kühlmittel, z.B. flüssiges Helium, ständig gekühlt werden.

Diese Kühlung von HF-Resonatoren ist bekannt und wird entweder erreicht, indem der supraleitende Resonator in ein Bad mit Flüssighelium (4,2 K) getaucht wird (Immersionsverfahren), oder durch doppelwandige Ausführung des Resonatorgefässes und Füllung des Zwischenraumes mit Flüssighelium, das ständig umgewälzt und ausgetauscht wird.

Diese bekannten Einrichtungen sind mit einer Reihe von Nachteilen behaftet, so ist insbesondere bei dem Immersionsverfahren das Resonatorgefäss, in dessen Innenraum ein Hochvakuum mit einem Druck von  $<10^{-6}$  Pa aufrechtzuerhalten ist, den Druckschwankungen des Heliumbades ausgesetzt, die Deformationen des Resonators bewirken und unerwünschte Eigenfrequenzänderungen zur Folge haben. Ausserdem kann das Eindringen des Flüssigheliums in den Resonator nur durch besondere, die Dichtheit erhöhende konstruktive Massnahmen verhindert werden. Diese Nachteile werden zwar durch die doppelwandige Ausführung des Resonators weitgehend beseitigt, aber der erforderliche konstruktive Aufwand und die damit verbundenen Kosten sind erheblich.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Kühleinrichtung für supraleitende HF-Resonatoren zu schaffen, die konstruktiv einfach ist, mit geringem Kostenaufwand hergestellt werden kann und frei ist von den Mängeln bekannter Einrichtungen.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäss durch die im kennzeichnenden Teil des Patentanspruchs 1 beschriebene Einrichtung in überraschend einfacher Weise gelöst. Die Herstellung der Einrichtung nach der Erfindung kann in besonders wirtschaftlicher Weise nach dem in Anspruch 7 angegebenen Verfahren erfolgen, weil die Endplatten und der Mangel des Resonators nach der Herstellung bei einer hohen Temperatur von etwa 2100 K während einer längeren Zeit von etwa 2 Stunden im Hochvakuum zum Einstellen guter Supraleitungseigenschaften ohnehin zu glühen sind.

Besonders vorteilhafte Ausführungsformen der erfindungsgemässen Einrichtung und des Verfahrens sind in den Patentansprüchen 2 bis 6 und 8 und 9 angegeben.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in der Zeichnung dargestellt und wird im folgenden näher beschrieben. Es zeigen:

Fig. 1 Ansicht eines durch Diffusionsschweissen mit einem Blech verbundenen Rohres,

Fig. 2 Schnittbild der Schweissverbindung mit Temperaturmessstellen,

Fig. 3 im Bereich der Schweissstelle in Abhängigkeit von der Heizleistung auftretende Temperaturänderung,

Fig. 4 Resonatorendplatte mit Einrichtung zum Diffusionsschweissen,

Fig. 5 Resonatormantel mit Einrichtung zum Diffusionsschweissen,

Fig. 6 Resonatormantel mit mäanderförmigem Kühlrohr.

Fig. 1 zeigt eine nach dem Diffusionsschweisverfahren hergestellte Verbindung eines Kühlrohres 1 mit einem Blech 2 (Resonatorwand). Beide Teile bestehen aus dem Supraleiterwerkstoff Niob. Das Blech 2 hat eine Dicke von 3 mm, das Kühlrohr 1 die Abmessungen  $10 \times 1$  mm und wird von flüssigem Helium 3 durchströmt.

Ein Schnittbild dieser Anordnung ist in Fig. 2 dargestellt, aus der ersichtlich ist, dass das Blech 2 zum Darstellen der im

Resonator während des Betriebes auftretenden Verlustwärme mit einer Kupferplatte 4 wärmeleitend verbunden ist, an die eine elektrische Heizpatrone 5 angeschlossen ist. Der Querschnitt 6 des Kühlrohres 1 hat die Form eines abgeflachten Kreises und ist mit einer der Flachseiten durch Diffusionsschweissen mit dem Blech 2 wärmeleitend verbunden.

Die Diffusionsschweissverbindung ist in einem UHV-Ofen bei einer Temperatur von 2100 K bei einem Druck von  $10^{-5}$  Pa, einem Anpressdruck von  $0,4 \cdot 10^5$  Pa während 2 Stunden hergestellt. Das Kühlrohr 1 und das Blech 2 sind vor dem Diffusionsschweissen an den Kontaktstellen poliert und entfettet worden.

Die Anordnung ist mit Temperaturfühler T1 bis T4 versehen, mit denen die in Fig. 3 dargestellten Temperaturverläufe als Funktion der mit der Heizpatrone 5 zugeführten Heizleistung bei entsprechenden Durchsätzen an Flüssighelium messbar sind.

Die Messungen zeigen, dass bei einer maximalen Temperaturerhöhung von 1 K etwa 0,1 W/cm Rohrlänge abgeführt werden kann, so dass dieses Kühlverfahren prinzipiell für Resonatoren anwendbar ist, bei denen mit einer Oberflächenbelastung von mehreren 100 Watt zu rechnen ist.

Eine mögliche Ausbildung der Kühleinrichtung nach der Erfindung ist in den Fig. 4, 5 und 6 vereinfacht dargestellt. Der rohrförmige Mantel 10 des Resonators ist an seinen offenen Enden 11, 12 mit je einer rotationssymmetrischen Endplatte 13 verschlossen, die in ihrem Zentrum ein Anschlussstück 14 für ein Strahlrohr besitzt. Mit der Aussenseite der Endplatte 13 ist ein spiralförmiges Kühlrohr 15 durch Diffusionsschweissen fest verbunden. Der Querschnitt des Kühlrohres 15 hat die Form eines abgeflachten Kreises, so dass die Kontaktfläche zwischen Kühlrohr 15 und Endplatte 13 vergrößert ist. Endplatte 13 und Kühlrohr 15 bestehen aus Niob, der Aussendurchmesser der Endplatte 13 beträgt etwa 500 mm, der Innendurchmesser des Strahlrohres 120 mm, die Wandstärke 3 mm. Das Kühlrohr hat die Abmessungen  $10 \times 1$  mm und ist etwa auf die Aussenmasse  $12 \times 7$  mm gedrückt.

Die Endplatte 13 wird zum Ausführen des Diffusionsschweissens auf eine erste Niobplatte 16 gelegt, die an ihrer der

Endplatte 13 zugewandten Seite durch Sandstrahlen aufgeraut ist. Das spiralförmige Kühlrohr 15 wird mit einer zweiten Niobplatte 17, die an beiden Seiten durch Sandstrahlen aufgeraut ist, gegen die Endplatte 13 gedrückt. Zum Einstellen eines vorbestimmten Anpressdruckes wird die zweite Niobplatte 17 mit an ihrer Unterseite durch Sandstrahlen aufgerauten Niobgewichten 18 belastet.

Entsprechend Fig. 5 und Fig. 6 wird der rohrförmige Mantel 10 des Resonators mit einem mäanderförmigen, im wesentlichen in Richtung der Resonatorachse orientierten ersten Kühlrohr 20 belegt. Zum Herstellen der Diffusionsschweissverbindung zwischen dem rohrförmigen Mantel 10 und dem mäanderförmigen Kühlrohr 20 werden beide Bauelemente bei horizontaler Lage der Achse des Mantels 10 in eine erste Halbschale 21 aus Niob gelegt und mit einer zweiten Halbschale 22 aus Niob abgedeckt. Die Schalen 21, 22 sind an ihren Innenseiten durch Sandstrahlen aufgeraut. Der Anpressdruck wird eingestellt mit an ihrer Unterseite durch Sandstrahlen aufgeraute Niobgewichte 23.

Die mit der Erfindung erzielbaren Vorteile bestehen insbesondere darin, dass unter Ausnutzung der in jedem Fall erforderlichen Glühphase ohne wesentlichen zusätzlichen Arbeitsaufwand eine quasi doppelwandige Kühleinrichtung mit hoher Kühlwirkung herstellbar ist, dass die Resonator-Verlustwärme mit einem durch die Kühlrohre fließenden Kühlmittel ohne Schwierigkeiten abgeführt werden kann, dass das in sich geschlossene Kühlsystem auch bei tiefen Temperaturen von 4,2 K zur Zwangsumlaufkühlung mit erhöhter Kühlwirkung geeignet ist, dass eine Druckänderung des Kühlmittels im Rohrsystem die im Betrieb genau einzuhaltende Eigenfrequenz des Resonators nicht ändert, dass das Abdichten des Kühlsystems gegen das inner- und ausserhalb des Resonators bestehende Vakuum in besonders einfacher Weise möglich ist, und dass die Dichtheitsforderungen für die an die Oberfläche des Resonators angeflanschten Einrichtungen zum Ein- und Auskoppeln von HF-Energie wesentlich herabgesetzt werden können, weil die Flansche von flüssigem Helium vollkommen frei bleiben.

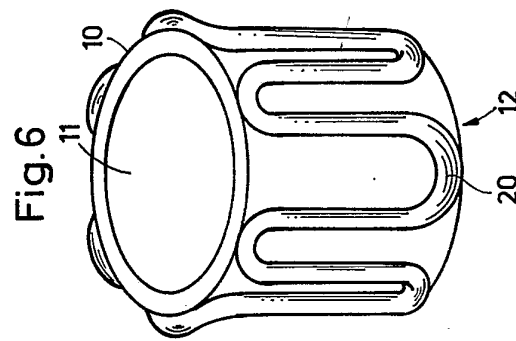
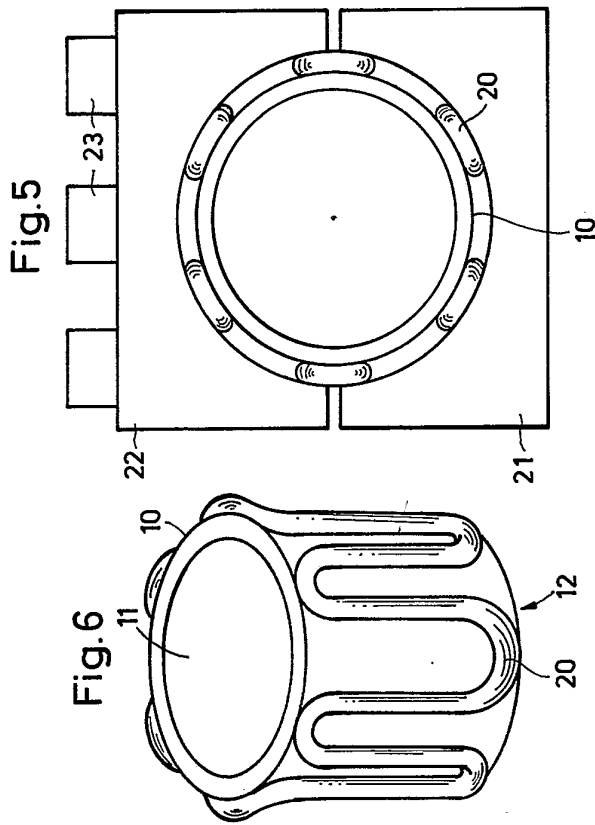
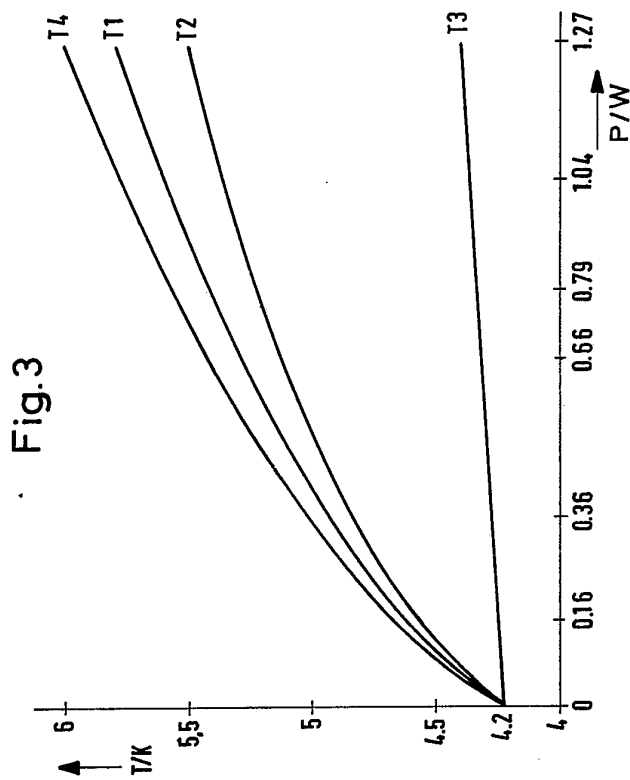
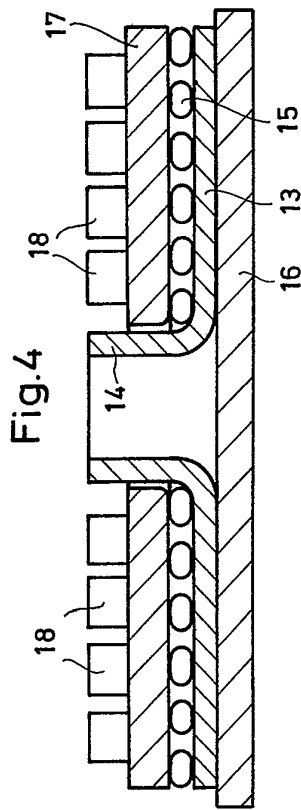
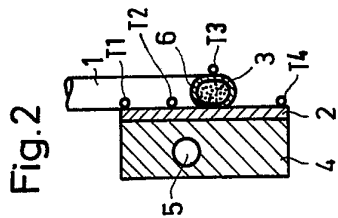
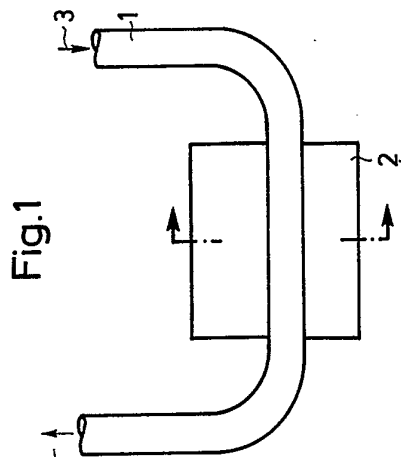


Fig. 5

Fig. 6

Fig. 1

Fig. 2

Fig. 4

Fig. 3