

(19)



(11)

EP 2 367 404 A2

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
21.09.2011 Patentblatt 2011/38

(51) Int Cl.:
H05H 7/14 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **11001598.9**

(22) Anmeldetag: **26.02.2011**

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

(30) Priorität: **19.03.2010 DE 102010012073**

(71) Anmelder: **Karlsruher Institut für Technologie
76131 Karlsruhe (DE)**

(72) Erfinder:
• **Rossmannith, Robert, Dr.
75045 Walzbachtal (DE)**
• **Wollmann, Daniel, Dr.
01550 Collonges (FR)**
• **Bernhard, Axel, Dr.
76137 Karlsruhe (DE)**
• **Peiffer, Peter
76297 Stutensee (DE)**

(54) **Vorrichtung zur Verringerung der Erwärmung einer Vakuumkammer**

(57) Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Verringerung der Erwärmung einer Vakuumkammer, die zur Aufnahme eines geladenen Teilchenstrahls **1**, auf den ein von einem supraleitenden Magneten **2** ausgehendes Magnetfeld auftrifft, vorgesehen ist, umfassend eine Vielzahl von supraleitenden Streifen **3, 3',...**, die zwischen dem geladenen Teilchenstrahl **1** und dem supraleitenden Magneten **2** angeordnet ist. Die Erfindung betrifft weiterhin eine Vakuumkammer, die mit einer derartigen Vorrichtung ausgestattet ist.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung ermöglicht die Verringerung der Erwärmung einer Vakuumkammer durch die weitgehende Vermeidung der Ausbildung von Spiegelströmen in der Wand der Vakuumkammer bzw. der Oberfläche des Magneten, wobei das Magnetfeld jedoch weitgehend ungehindert durch die Vielzahl der supraleitenden Streifen hindurchgeht, und eignet sich daher vor allem für den Einsatz in Vakuumkammern in Beschleunigern.

EP 2 367 404 A2

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Verringerung der Erwärmung einer Vakuumkammer, die zur Aufnahme eines geladenen Teilchenstrahls, auf den ein von einem supraleitenden Magneten ausgehendes Magnetfeld auftrifft, insbesondere in einem Beschleuniger vorgesehen ist, sowie eine Vakuumkammer, die eine derartige Vorrichtung umfasst.

[0002] Moderne Beschleuniger enthalten Undulatoren oder Wiggler, die supraleitende Magnete umfassen, die zur Beaufschlagung eines geladenen Teilchenstrahls, der sich in einer Vakuumkammer in der Regel auf Helium-Temperatur befindet, dienen.

[0003] Der Teilchenstrahl erwärmt die Vakuumkammer über zahlreiche Effekte. Die üblicherweise stärkste Ursache für die Erwärmung besteht darin, dass in den Wänden der kalten, aber nicht supraleitenden Vakuumkammer Spiegelladungen induziert werden, die mit dem Teilchenstrahl wandern. Die dadurch erzeugten Ströme erwärmen aufgrund des endlichen Ohmschen Widerstands die metallische Wand der Vakuumkammer und damit indirekt sowohl den supraleitenden Magneten als auch die Vakuumkammer.

[0004] Ist der Beschleuniger so aufgebaut, dass sich zwischen dem supraleitenden Magneten und dem Teilchenstrahl keine metallische Wand befindet, werden die Spiegelladungen, die mit dem Teilchenstrahl wandern, direkt in die metallischen Oberflächen des Magneten induziert. Auch hier erwärmen die dadurch erzeugten Ströme aufgrund des endlichen Ohmschen Widerstands die Oberflächen und damit auch hier indirekt den supraleitenden Magneten und die Vakuumkammer.

[0005] Weitere Quellen für die Erwärmung der Vakuumkammer sind die Synchrotronstrahlung, die auf die kalte Vakuumkammer fällt, bzw. ein Bombardement der Vakuumkammer durch Elektronen oder Ionenwolken. Jede Erwärmung des Magneten oder des Supraleiters verringert den maximalen Strom im Supraleiter und somit das erreichbare maximale Magnetfeld. Darüber hinaus ist auch die Erwärmung des Volumens der Vakuumkammer unerwünscht.

[0006] Aus S. Khrushchev, V. Lev, N. Mezentsev, E. Miginsky, V. Repkov, V. Shkaruba, V. Syrovatin, V. Tsukanov, 3.5 Tesla 49-pole superconducting wiggler for DLS, Proceedings of RuPAC 2006, Nowosibirsk, Russland, ist es bekannt, zwischen der Vakuumkammer und dem Magneten einen Vakuumpalt zu lassen. Die Vakuumkammer kann sich zwar erwärmen, die Wärme wird wegen des Spalts aber nicht auf den Magneten übertragen, da der Magnet und die Vakuumkammer gesondert gekühlt werden. Nachteilig hieran ist, dass diese Anordnung zu einer Verkleinerung des freien Raumes, der dem Teilchenstrahl zur Verfügung steht, führt.

[0007] Aus der DE 27 31 458 A1 ist eine Vorrichtung bekannt, die zur Aufnahme eines Teilchenstrahls (Elektronenstrahls) vorgesehen ist, wobei sich zwischen dem Teilchenstrahl und einem supraleitenden Magneten (Lin-

sensspulenwicklung) eine topfartig ausgebildete Abschirmvorrichtung aus supraleitendem Material befindet.

[0008] Die US 3,290,219 A, die WO 2007/122025 A1 und die DE 10 2006 027 218 A1 offenbaren weitere Vorrichtungen zur Aufnahme von geladenen Teilchenstrahlen, die von mehreren supraleitenden Magneten umgeben sind bzw. bei denen ein supraleitendes Material in eine normalleitende Spule eingebaut wird, um die Erwärmung der Spule zu verhindern, die bei der Erzeugung von Spiegelladungen entsteht.

[0009] Daher besteht die Aufgabe der vorliegenden Erfindung darin, eine Vorrichtung zur Verringerung der Erwärmung einer Vakuumkammer, die zur Aufnahme eines geladenen Teilchenstrahls in einem Beschleuniger vorgesehen ist, sowie eine Vakuumkammer, die mit einer derartigen Vorrichtung ausgestattet ist, vorzuschlagen, die die genannten Nachteile und Einschränkungen nicht aufweisen.

[0010] Insbesondere soll eine derartige Vorrichtung bereitgestellt werden, die es ermöglicht, dass das von einem supraleitenden Magneten ausgehende Magnetfeld möglichst ungehindert auf den geladenen Teilchenstrahl, der die Vakuumkammer durchläuft, auftrifft.

[0011] Diese Aufgabe wird im Hinblick auf die Vorrichtung durch die Merkmale des Anspruchs 1 und im Hinblick auf die Vakuumkammer durch die Merkmale des Anspruchs 10 gelöst. Die Unteransprüche beschreiben vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung.

[0012] Die erfindungsgemäße Vorrichtung weist eine Vielzahl von supraleitenden Streifen auf, die zwischen dem geladenen Teilchenstrahl und dem supraleitenden Magneten angeordnet sind.

[0013] In einer bevorzugten Ausgestaltung sind die supraleitenden Streifen jeweils parallel zueinander in mindestens einer Reihe angeordnet. Vorzugsweise sind die Streifen hierbei parallel zur Strahlrichtung des Teilchenstrahls angeordnet.

[0014] Sind die Streifen innerhalb einer Reihe in einem Abstand voneinander, der ihrer Breite entspricht, angeordnet, so wird dadurch die Erwärmung der Vakuumkammer durch die Spiegelströme halbiert, da sich die Hälfte der Spiegelströme in einem supraleitenden Material mit dem Widerstand Null bewegt und daher nicht zur Ohmschen Erwärmung beiträgt.

[0015] In einer besonders bevorzugten Ausgestaltung sind die supraleitenden Streifen auf mindestens zwei gesonderte Reihen, die räumlich gegeneinander versetzt sind, verteilt. Hierbei sind die supraleitenden Streifen in den mindestens zwei Reihen derart gegeneinander versetzt, dass diese, vom Teilchenstrahl aus betrachtet, eine möglichst große Fläche überdecken.

[0016] Insgesamt ist die Vielzahl der supraleitenden Streifen derart angeordnet, dass der geladene Teilchenstrahl eine möglichst homogene und möglichst geschlossene supraleitende Oberfläche "sieht", das Magnetfeld aber möglichst ungehindert durch die Vielzahl der supraleitenden Streifen hindurchgeht.

[0017] Die Dicke der supraleitenden Streifen nimmt

vorzugsweise einen Wert im Bereich von 100 nm bis 1 μm an.

[0018] In einer besonderen Ausgestaltung ist die Vielzahl von supraleitenden Streifen auf einem Träger aufgebracht, der zwischen dem geladenen Teilchenstrahl und dem supraleitenden Magneten angeordnet ist. Der Träger besteht aus einem festen, metallischen oder vorzugsweise isolierenden Material. Die Dicke des Trägers beträgt vorzugsweise 10 μm bis 1000 μm .

[0019] In einer besonders bevorzugten Ausgestaltung werden auf die beiden Seiten des Trägers jeweils supraleitende Streifen derart aufgebracht, dass die Streifen auf der einen Seite in Bezug zu den Streifen auf der anderen Seite versetzt aufgebracht sind.

[0020] Die Erfindung betrifft weiterhin eine Vakuumkammer, insbesondere in einem Beschleuniger, zur Aufnahme eines geladenen Teilchenstrahls, auf den ein von einem supraleitenden Magneten ausgehendes Magnetfeld auftritt, die mit einer erfindungsgemäßen Vorrichtung ausgestattet ist.

[0021] Der mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung erzielte physikalische Effekt lässt sich wie folgt erklären:

[0022] Die in der Vakuumkammer induzierten Ströme erwärmen die Vakuumkammer und den Magneten wegen des endlichen Ohmschen Widerstands der Vakuumkammer. Aufgrund des so genannten *Skin-Effekts* bewegen sich die Ströme im Allgemeinen in einer dünnen Schicht an der dem Strahl zugewandten Seite der kalten Vakuumkammer. Der hierdurch erzeugte Widerstand und die damit verbundene Erwärmung würden unterbleiben, wenn die Vakuumkammer aus supraleitendem Material mit dem Ohmschen Widerstand Null bestünde.

[0023] Da ein Supraleiter jedoch ein Diamagnet ist, werden die magnetischen Feldlinien bei einem so genannten *Typ I Supraleiter* vollständig bzw. bei einem so genannten *Typ II Supraleiter* teilweise verdrängt, so dass eine supraleitende Vakuumkammer zwar die Erwärmung durch die Spiegelströme verhindert, gleichzeitig aber das für die Beaufschlagung des geladenen Teilchenstrahls erforderliche Magnetfeld verringern oder auslöschen würde. Eine derartige Reduktion der Feldstärke durch eine dünne supraleitende Schicht eines *Typ II Supraleiters* konnte experimentell nachgewiesen werden.

[0024] Erfindungsgemäß wird die Verringerung des Magnetfelds dadurch verhindert, dass die dem Teilchenstrahl zugewandte Seite zwar aus einer supraleitenden Schicht besteht, diese Schicht jedoch streifenförmig unterbrochen ist. Die Feldlinien werden gemäß dem diamagnetischen Verhalten des Supraleiters jeweils um die supraleitenden Streifen abgelenkt und auf diese Weise nur sehr geringfügig abgeschwächt.

[0025] Die erfindungsgemäße Vorrichtung ermöglicht die Verringerung der Erwärmung einer Vakuumkammer durch die weitgehende Vermeidung der Ausbildung von Spiegelströmen in der Wand der Vakuumkammer bzw. der Oberfläche des Magneten, wobei das Magnetfeld jedoch weitgehend ungehindert durch die Vielzahl der supraleitenden Streifen hindurchgeht, und eignet sich da-

her für die Verwendung in Vakuumkammern, vor allem in Beschleunigern.

[0026] Die Erfindung wird im Folgenden anhand eines Ausführungsbeispiels und der Figuren näher erläutert. Hierbei zeigen:

Fig. 1 Vorrichtung mit in einer Reihe angeordneten supraleitenden Streifen in einer Vakuumkammer.

Fig. 2 Vorrichtung mit in einer Reihe angeordneten supraleitenden Streifen auf einem Träger in einer Vakuumkammer.

Fig. 3 Vorrichtung mit in zwei gesonderten Reihen angeordneten supraleitenden Streifen in einer Vakuumkammer.

Fig. 4 Vorrichtung mit in zwei gesonderten Reihen angeordneten supraleitenden Streifen auf einem Träger in einer Vakuumkammer.

[0027] **Fig. 1** zeigt eine erfindungsgemäße Vorrichtung, die in Form von in einer Reihe angeordneten supraleitenden Streifen **3, 3'** in einer Vakuumkammer ausgeführt ist. Dadurch wird die Erwärmung des supraleitenden Magneten **2** durch die vom Teilchenstrahl **1** induzierten Spiegelströme verringert, da sich ein Teil der Spiegelströme in einem supraleitenden Material mit dem Widerstand Null bewegt und daher nicht zur Erwärmung beiträgt. Die Feldlinien **5** des Supraleiters werden entsprechend seinem diamagnetischen Verhalten jeweils um die supraleitenden Streifen **3, 3'** abgelenkt und auf diese Weise nur sehr geringfügig in der Größenordnung von 1 % abgeschwächt.

[0028] In **Fig. 2** ist eine erfindungsgemäße Vorrichtung, die wie in **Fig. 1** in einer Vakuumkammer in Form von in einer Reihe angeordneten supraleitenden Streifen **3, 3'** auf einem isolierenden Träger **6** ausgeführt ist, dargestellt.

[0029] **Fig. 3** zeigt eine erfindungsgemäße Vorrichtung, die in einer Vakuumkammer in Form von in zwei gesonderten Reihen angeordneten supraleitenden Streifen **3, 3'** bzw. **4, 4', 4''** ausgeführt ist.

[0030] In **Fig. 4** ist eine erfindungsgemäße Vorrichtung, die wie in **Fig. 3** in einer Vakuumkammer in Form von in zwei gesonderten Reihen angeordneten supraleitenden Streifen **3, 3'** bzw. **4, 4', 4''**, die sich jeweils auf gegenüber liegenden Seite des isolierenden Trägers **6** befinden, ausgeführt ist, dargestellt.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Verringerung der Erwärmung einer Vakuumkammer, die zur Aufnahme eines geladenen Teilchenstrahls (1) vorgesehen ist, wobei auf den Teilchenstrahl (1) ein von einem supraleitenden

Magneten (2) ausgehendes Magnetfeld auftrifft, umfassend eine Vielzahl von supraleitenden Streifen (3, 3', ...), die zwischen dem geladenen Teilchenstrahl (1) und dem supraleitenden Magneten (2) angeordnet ist.

5

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei die supraleitenden Streifen (3, 3', ...) jeweils parallel zueinander in mindestens einer Reihe angeordnet sind.

10

3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Streifen innerhalb einer Reihe in einem Abstand voneinander, der ihrer Breite entspricht, angeordnet sind.

4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die supraleitenden Streifen (3, 3', ...) jeweils parallel zur Strahlrichtung des Teilchenstrahls (1) angeordnet sind.

15

5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die Dicke der supraleitenden Streifen (3, 3', ...) 100 nm bis 1 μ m beträgt.

20

6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei die Vielzahl der supraleitenden Streifen (3, 3', ...) auf einem Träger (6), der zwischen dem geladenen Teilchenstrahl (1) und dem supraleitenden Magneten (2) angeordnet ist, aufgebracht ist.

25

7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei mindestens zwei gesonderte Reihen von supraleitenden Streifen (3, 3', ...; 4, 4', ...) die räumlich gegeneinander versetzt sind, vorgesehen sind.

30

8. Vorrichtung nach Anspruch 7, wobei zwei gesonderte Reihen von supraleitenden Streifen (3, 3', ...; 4, 4', ...) vorgesehen sind, die jeweils auf einer Seite des Trägers (6), in Bezug zu den Streifen auf der jeweils anderen Seite des Trägers (6) räumlich gegeneinander versetzt, aufgebracht sind.

35

40

9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 8, wobei die Dicke des Trägers (6) 10 μ m bis 1000 μ m beträgt.

45

10. Vakuumkammer, die zur Aufnahme eines geladenen Teilchenstrahls (1), auf den ein von einem supraleitenden Magneten (2) ausgehendes Magnetfeld auftrifft, vorgesehen ist, umfassend eine Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9.

50

55

Fig. 1

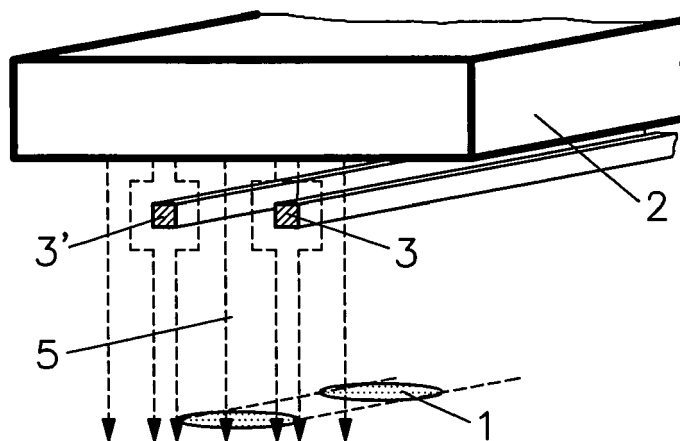


Fig.2

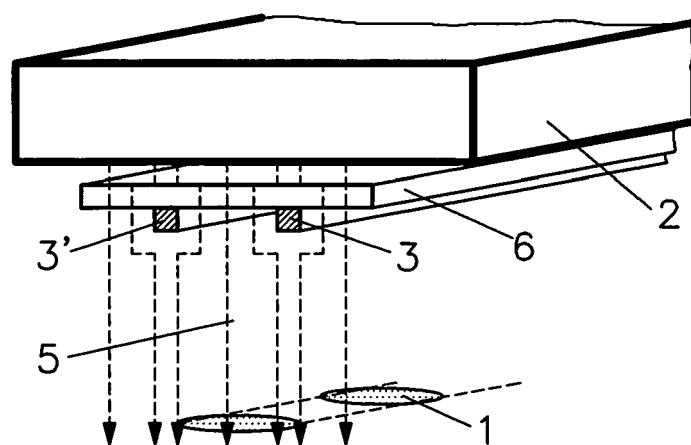


Fig. 3

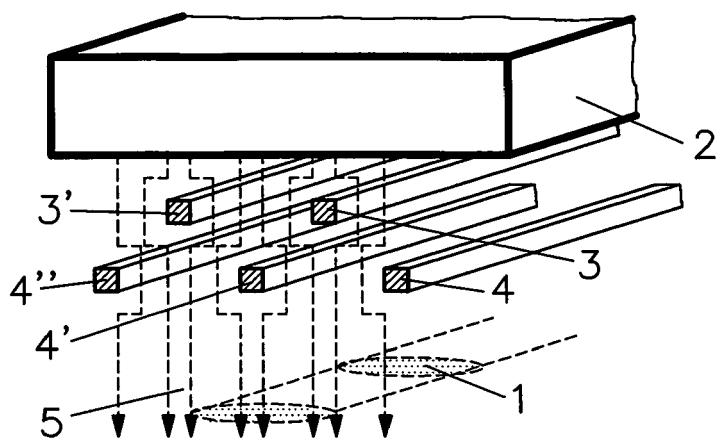
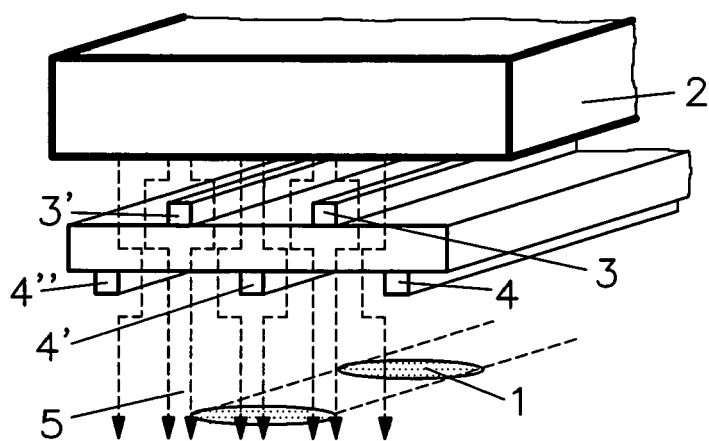


Fig. 4



IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

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

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- DE 2731458 A1 [0007]
- US 3290219 A [0008]
- WO 2007122025 A1 [0008]
- DE 102006027218 A1 [0008]

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- **S. KHRUSHCHEV ; V. LEV ; N. MEZENTSEV ; E. MIGINSKY ; V. REPKOV ; V. SHKARUBA ; V. SYROVATIN ; V. TSUKANOV.** 3.5 Tesla 49-pole superconducting wiggler for DLS. *Proceedings of RuPAC 2006*, 2006 [0006]