(19)日本国特許庁(JP)　(12)公開特許公報(A)　(11)特許出願公開番号
特開2004-14882
(P2004-14882A)
(43)公開日　平成16年1月15日(2004.1.15)

(51)Int.Cl.[7]	F I		テーマコード（参考）
H01F 6/00	H01F 7/22	ZAAZ	
H01F 6/04	H01F 7/22	G	

審査請求 有　請求項の数 4　OL　（全 10 頁）

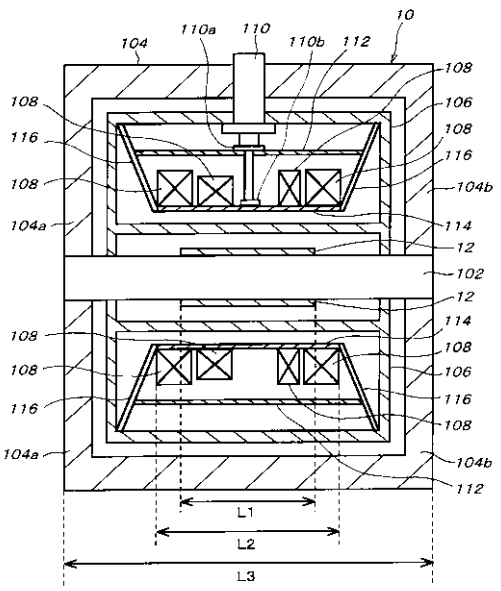
(21)出願番号　特願2002-167759(P2002-167759)
(22)出願日　平成14年6月7日(2002.6.7)

(71)出願人　000006792
理化学研究所
埼玉県和光市広沢２番１号
(74)代理人　100087000
弁理士　上島　淳一
(72)発明者　中川　孝秀
埼玉県和光市広沢２番１号　理化学研究所内
(72)発明者　日暮　祥英
埼玉県和光市広沢２番１号　理化学研究所内
(72)発明者　木寺　正憲
埼玉県和光市広沢２番１号　理化学研究所内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】超伝導磁石装置

(57)【要約】
【課題】従来よりもヨークの大きさを小型化することが可能な超伝導磁石装置を提供する。
【解決手段】全体が筒状に形成された超伝導ソレノイドコイル１０８と、上記超伝導ソレノイドコイル１０８の外径側を覆うように配置されたヨーク１０４とを有する超伝導磁石装置において、上記超伝導ソレノイドコイル１０８の内径側に補助ヨーク１２を配置することにより、超伝導ソレノイドコイル１０８を支持する支持部材１１６にかかる荷重を設計された範囲内に抑制しながら、従来よりもヨーク１０４の大きさを小型化する。
【選択図】　図３



【特許請求の範囲】
【請求項１】
全体が筒状に形成された超伝導ソレノイドコイルと、
前記超伝導ソレノイドコイルの外径側を覆うように配置されたヨークと
を有する超伝導磁石装置において、
前記超伝導ソレノイドコイルの内径側に補助ヨークを配置した
超伝導磁石装置。
【請求項２】
請求項１に記載の超伝導磁石装置において、
前記補助ヨークは、鉄製の筒状体である
超伝導磁石装置。
【請求項３】
請求項１または請求項２のいずれか１項に記載の超伝導磁石装置において、
前記超伝導ソレノイドコイルを冷凍機を用いて冷却する
超伝導磁石装置。
【請求項４】
請求項１または請求項２のいずれか１項に記載の超伝導磁石装置において、
前記超伝導ソレノイドコイルを液体ヘリウムを用いて冷却する
超伝導磁石装置。
【発明の詳細な説明】
【０００１】
【発明の属する技術分野】
本発明は、超伝導磁石装置に関し、さらに詳細には、ＥＣＲイオン源における磁場形成などのために用いて好適な超伝導磁石装置に関する。
【０００２】
【従来の技術】
従来より、ＥＣＲイオン源におけるミラー磁場を形成するためには、超伝導磁石装置が用いられている。
【０００３】
こうしたＥＣＲイオン源などに用いられる超伝導磁石装置は、磁場を形成する超伝導ソレノイドコイルと、もれ磁場を抑制する鉄製のヨークとを有して構成されている。そして、超伝導ソレノイドコイルは、液体ヘリウムやギフォードーマクマフォン型冷凍機（以下、単に「ＧＭ冷凍機」と称する。）などの冷凍機により超伝導状態を維持するように冷却されている。
【０００４】
なお、液体ヘリウムを使用せずに冷凍機により超伝導ソレノイドコイルを冷却する超伝導磁石装置は、一般に伝導冷却型超伝導磁石装置と称されているが、本明細書においては、液体ヘリウムを使用して超伝導ソレノイドコイルを冷却する超伝導磁石装置や伝導冷却型超伝導磁石装置を総称して、単に超伝導磁石装置と称するものとする。
【０００５】
図１には、ＥＣＲイオン源に用いられる従来の伝導冷却型超伝導磁石装置の概念断面構成説明図が示されている。
【０００６】
この従来の伝導冷却型超伝導磁石装置１００は、電子サイクロトロン共鳴領域（ＥＣＲゾーン）が形成されるチャンバー１０２の外周を取り囲むように配設されており、チャンバー１０２の外周に配置された両方の端部１０４ａ、１０４ｂが略ドーナツ形状に形成された略円筒状の鉄製のヨーク１０４と、ヨーク１０４の内径側においてチャンバー１０２の外周に配置された中空円筒状の真空槽１０６と、真空槽１０６内に配置された略円筒形状を備えた超伝導ソレノイドコイル１０８（超伝導ソレノイドコイル１０８は、後述するように伝熱板１１４と熱接触するようにその上に配置される。）と、超伝導ソレノイドコイ

ル１０８を冷却するＧＭ冷凍機１１０とを有して構成されている。
【０００７】
従って、ヨーク１０４により超伝導ソレノイドコイル１０８の外径側全体が覆われることになる。
【０００８】
さらに詳細には、真空槽１０６内には熱シールド板１１２と伝熱板１１４とが配置されている。これら熱シールド板１１２と伝熱板１１４とは、支持部材１１６を介して真空槽１０６の内壁に支持されている。熱シールド板１１２ならびに伝熱板１１４は、熱伝導性に優れている無酸素銅やアルミニウムにより構成することができる。また、支持部材１１６は、熱伝導性が低く、かつ、許容荷重の大きな材料であるＦＲＰなどで構成することができる。
【０００９】
なお、伝熱板１１４上には、超伝導ソレノイドコイル１０８が熱接触するようにして配設されている。
【００１０】
また、ＧＭ冷凍機１１０は、第１冷却ステージ１１０ａと第２冷却ステージ１１０ｂとを備えている。第１冷却ステージ１１０ａは熱シールド板１１２と熱接触するように配設されており、温度約４０Ｋ～５０Ｋまで熱シールド板１１２を冷却する。また、第２冷却ステージ１１０ｂは伝熱板１１４と熱接触するように配設されており、伝熱板１１４を介して超伝導ソレノイドコイル１０８を温度約４Ｋまで冷却する。
【００１１】
以上の構成において、ＧＭ冷凍機１１０により超伝導ソレノイドコイル１０８を極低温に冷却して超伝導状態になったときに、ヨーク１０４に磁路を形成し、チャンバー１０２内に磁場を発生する。
【００１２】
ところで、上記した図１に示す伝導冷却型超伝導磁石装置１００のように、小型の冷凍機を用いた伝導冷却型超伝導磁石装置においては、液体ヘリウムを用いることなしに超伝導ソレノイドコイルを超伝導状態にすることが可能である。
【００１３】
しかしながら、小型冷凍機は液体ヘリウムに比べて冷却能力が低いため、外部から超伝導ソレノイドコイルへの熱の流入を最小限に抑える必要がある。
【００１４】
伝導冷却型超伝導磁石装置において、超伝導ソレノイドコイルへの最も大きな熱流入の部位は、超伝導ソレノイドコイルが載置された伝熱板を真空槽に支持する支持部材などのような、超伝導ソレノイドコイルを支持するための支持部材である。
【００１５】
例えば、ある伝導冷却型超伝導磁石装置の設計においては、温度４Ｋにおける冷凍機の冷凍能力が１Ｗの場合に、超伝導ソレノイドコイルを超伝導状態に保つためには、超伝導ソレノイドコイルを支持する支持部材の耐荷加重強度を１５ＫＮ以下に抑制する必要がある。
【００１６】
従って、もれ磁場の範囲を極小にし、かつ、いずれかの超伝導ソレノイドコイルがクエンチするなどのいかなる場合においても上記支持部材にかかる荷重を１５ＫＮに抑制するためには、超伝導ソレノイドコイルを覆うヨークを大型化せざるを得ないという問題点があった。
【００１７】
このようにヨークを大型化すると、それとともに装置全体が大型化するとともに重量も増加するために取り扱い性に劣るようになるので、超伝導ソレノイドコイルを支持する支持部材にかかる荷重を設計された範囲内に抑制し、かつ、従来よりもヨークの大きさを小型化することのできる伝導冷却型超伝導磁石装置の提案が望まれていた。

【００１８】
また、図２には、ＥＣＲイオン源に用いられる従来の液体ヘリウムを使用して超伝導ソレノイドコイルを冷却する超伝導磁石装置の概念断面構成説明図が示されている。
【００１９】
この従来の液体ヘリウムを使用して超伝導ソレノイドコイルを冷却する超伝導磁石装置２００は、ＥＣＲゾーンが形成されるチャンバー２０２の外周を取り囲むように配設されており、チャンバー２０２の外周に配置された両方の端部２０４ａ、２０４ｂが略ドーナツ形状に形成された略円筒状の鉄製のヨーク２０４と、ヨーク２０４の内径側においてチャンバー２０２の外周に配置された中空円筒状の槽２０６と、槽２０６内に配置された略円筒形状を備えた超伝導ソレノイドコイル２０８（超伝導ソレノイドコイル２０８は、後述するように支持部材２１６上に配置される。）とを有して構成されており、槽２０６内には液体ヘリウムが供給されていて、超伝導ソレノイドコイル２０８を温度約４Ｋまで冷却する。
【００２０】
従って、ヨーク２０４により超伝導ソレノイドコイル２０８の外径側全体が覆われることになる。
【００２１】
さらに詳細には、槽２０６内には支持部材２０４が槽２０６の内壁に取り付けられており、支持部材２０４上には超伝導ソレノイドコイル２０８が配設されている。
【００２２】
以上の構成において、液体ヘリウムにより超伝導ソレノイドコイル２０８を極低温に冷却して超伝導状態になったときに、ヨーク２０４に磁路を形成し、チャンバー２０２内に磁場を発生する。
【００２３】
こうした液体ヘリウムを使用して超伝導ソレノイドコイルを冷却する超伝導磁石装置においても、ヨークを小型化することができれば、装置全体を小型化して重量も軽減されて取り扱い性に優れるようになるので、従来よりもヨークの大きさを小型化することのできる手法の提案が望まれていた。
【００２４】
【発明が解決しようとする課題】
本発明は、上記したような従来の技術に対する要望に鑑みてなされたものであり、その目的とするところは、従来よりもヨークの大きさを小型化することが可能な超伝導磁石装置を提供しようとするものである。
【００２５】
【課題を解決するための手段】
上記目的を達成するために、本発明のうち請求項１に記載の発明は、全体が筒状に形成された超伝導ソレノイドコイルと、上記超伝導ソレノイドコイルの外径側を覆うように配置されたヨークとを有する超伝導磁石装置において、上記超伝導ソレノイドコイルの内径側に補助ヨークを配置したものである。
【００２６】
従って、本発明のうち請求項１に記載の発明によれば、補助ヨークにも磁路が形成されて、超伝導ソレノイドコイルとヨークとの間にかかる力を相殺する力が生じることになり、従来よりもヨークの大きさを小型化することができるようになる。
【００２７】
ここで、上記補助ヨークは、本発明のうち請求項２に記載の発明のように、鉄製の筒状体により構成することができる。
【００２８】
また、上記超伝導ソレノイドコイルは、本発明のうち請求項３に記載の発明のように冷凍機を用いて冷却するようにしてもよいし、また、本発明のうち請求項４に記載の発明のように液体ヘリウムを用いて冷却するようにしてもよい。

【００２９】
【発明の実施の形態】
以下、添付の図面に基づいて、本発明による超伝導磁石装置の実施の形態の一例について詳細に説明するものとする。
【００３０】
図３には、ＥＣＲイオン源に用いられる本発明による伝導冷却型超伝導磁石装置の概念断面構成説明図が示されている。なお、図１に示す従来の伝導冷却型超伝導磁石装置１００と同一または相当する構成は、図１において用いた符号と同一の符号を用いて示すこととし、ここに図１に関する説明を援用するものとしてその構成ならびに作用の説明は省略する。
【００３１】
この図３に示す本発明による伝導冷却型超伝導磁石装置１０は、超伝導ソレノイドコイル１０８の内径側、即ち、チャンバー１０２の外周と超伝導ソレノイドコイル１０８との間に、略円筒状の鉄製の補助ヨーク１２を備えている点で、図１に示す従来の伝導冷却型超伝導磁石装置とは異なる。
【００３２】
この補助ヨーク１２は、チャンバー１０２の外周上に配設されており、例えば、その軸方向長さＬ１は超伝導ソレノイドコイル１０８が配置されている領域の軸方向長さＬ２よりも短くてよい。
【００３３】
以上の構成において、補助ヨーク１２を配置することにより、補助ヨーク１２にも磁路が形成されて、超伝導ソレノイドコイル１０８とヨーク１０４との間にかかる力を相殺する力を生じさせることができる。
【００３４】
このため、補助ヨーク１２を配置すると、超伝導ソレノイドコイル１０８を支持する支持部材１１６にかかる荷重を設計された範囲内に抑制しながら、従来よりもヨーク１０４の大きさを小型化することができるようになる。
【００３５】
例えば、図３に示す本発明による伝導冷却型超伝導磁石装置１０においては、ヨーク１０４の軸方向長さＬ３を、図１に示す他の構成が同一な設計の従来の伝導冷却型超伝導磁石装置１００におけるヨーク１０４の軸方向長さＬ４よりも短くすることができる。
【００３６】
次に、図４には、図３に示すＥＣＲイオン源に用いられる本発明による伝導冷却型超伝導磁石装置の具体的な構成例を示す概念断面構成説明図が示されている。以下、この図４を参照しながら、具体例を説明する。
【００３７】
図１に示す従来の構成における超伝導ソレノイドコイル１０８の配置ならびに寸法が、図４に示すものと同様である場合において、もれ漏れ磁場の範囲を極小にし、かつ、支持部材１１６にかかる荷重をいかなる場合にも１５ＫＮ以下に抑制するためには、ヨーク１０４の軸方向長さＬ４として１．０４ｍの長さが必要であった。
【００３８】
しかしながら、図３ならびに図４に示すように、超伝導ソレノイドコイル１０８の内径側に略円筒状の鉄製の補助ヨーク１２（厚さ３ｍｍ、直径３５ｃｍ）を配置することによって、ヨーク１０４と超伝導ソレノイドコイル１０８との間にかかる力を相殺することができ、ヨーク１０４の軸方向長さＬ３を０．７３ｍにすることができた。
【００３９】
次に、図５には、ＥＣＲイオン源に用いられる本発明による液体ヘリウムを使用して超伝導ソレノイドコイルを冷却する超伝導磁石装置の概念断面構成説明図が示されている。なお、図２に示す従来の液体ヘリウムを使用して超伝導ソレノイドコイルを冷却する超伝導磁石装置２００と同一または相当する構成は、図２において用いた符号と同一の符号を用

いて示すこととし、ここに図２に関する説明を援用するものとしてその構成ならびに作用の説明は省略する。

【００４０】

この図５に示す本発明による液体ヘリウムを使用して超伝導ソレノイドコイルを冷却する超伝導磁石装置２０は、超伝導ソレノイドコイル２０８の内径側、即ち、チャンバー２０２の外周と超伝導ソレノイドコイル２０８との間に、略円筒状の鉄製の補助ヨーク２２を備えている点で、図２に示す従来の伝導冷却型超伝導磁石装置と異なる。

【００４１】

この補助ヨーク２２は、チャンバー２０２の外周上に配設されており、例えば、その軸方向長さＬ５は超伝導ソレノイドコイル２０８が配置されている領域の軸方向長さＬ６よりも短くてよい。

【００４２】

以上の構成において、補助ヨーク２２を配置することにより、補助ヨーク２２にも磁路が形成されて、超伝導ソレノイドコイル２０８とヨーク２０４との間にかかる力を相殺する力を生じさせることができる。

【００４３】

このため、補助ヨーク２２を配置すると、超伝導ソレノイドコイル２０８を支持する支持部材２１６にかかる荷重を設計された範囲内に抑制しながら、従来よりもヨーク２０４の大きさを小型化することができるようになる。

【００４４】

例えば、図５に示す本発明による液体ヘリウムを使用して超伝導ソレノイドコイルを冷却する超伝導磁石装置２０においては、ヨーク１０４の軸方向長さＬ７を、図２に示す他の構成が同一な設計の従来の液体ヘリウムを使用して超伝導ソレノイドコイルを冷却する超伝導磁石装置２００におけるヨーク１０４の軸方向長さＬ８よりも短くすることができる。

【００４５】

なお、上記した実施の形態は、以下の（１）乃至（４）に示すように変形してもよい。

【００４６】

（１）上記した実施の形態においては、補助ヨーク１２（２２）は、略円筒状に形成したが、これに限られるものではないことは勿論であり、棒状や板状などの適宜の形状をとることができる。要するに、補助ヨーク１２（２２）はその形状を限定されるものではなく、超伝導ソレノイドコイル１０８（２０８）の内径側に配置されるようにすればよい。

【００４７】

（２）上記した実施の形態においては、補助ヨーク１２（２２）の軸方向長さＬ１（Ｌ５）は超伝導ソレノイドコイル１０８（２０８）が配置されている領域の軸方向長さＬ２（Ｌ６）よりも短くしたが、これに限られるものではないことは勿論であり、超伝導ソレノイドコイル１０８（２０８）が配置されている領域の軸方向長さＬ２（Ｌ６）よりも長くするようにしてもよい。また、補助ヨーク１２（２２）の厚さも、適宜選択すればよい。即ち、補助ヨーク１２（２２）の大きさは、補助ヨーク１２（２２）が生じさせる超伝導ソレノイドコイル１０８（２０８）とヨーク１０４（２０４）との間にかかる力を相殺する力の大きさを勘案し、設計者が適宜に設計すればよい。

【００４８】

（３）上記した実施の形態においては、ヨーク１０４（２０４）や超伝導ソレノイドコイル１０８（２０８）を略円筒状に形成したが、これに限られるものではないことは勿論であり、適宜の形状の筒状に形成するようにしてもよい。

【００４９】

（４）上記した実施の形態ならびに上記した（１）乃至（３）に示す変形例は、適宜に組み合わせて用いるようにしてもよい。

【００５０】

【発明の効果】

本発明は、以上説明したように構成されているので、従来よりもヨークの大きさを小型化することが可能な超伝導磁石装置を提供することができるようになるという優れた効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【図１】ＥＣＲイオン源に用いられる従来の伝導冷却型超伝導磁石装置の概念断面構成説明図である。

【図２】ＥＣＲイオン源に用いられる従来の液体ヘリウムを使用して超伝導ソレノイドコイルを冷却する超伝導磁石装置の概念断面構成説明図である。

【図３】ＥＣＲイオン源に用いられる本発明による伝導冷却型超伝導磁石装置の概念断面構成説明図である。

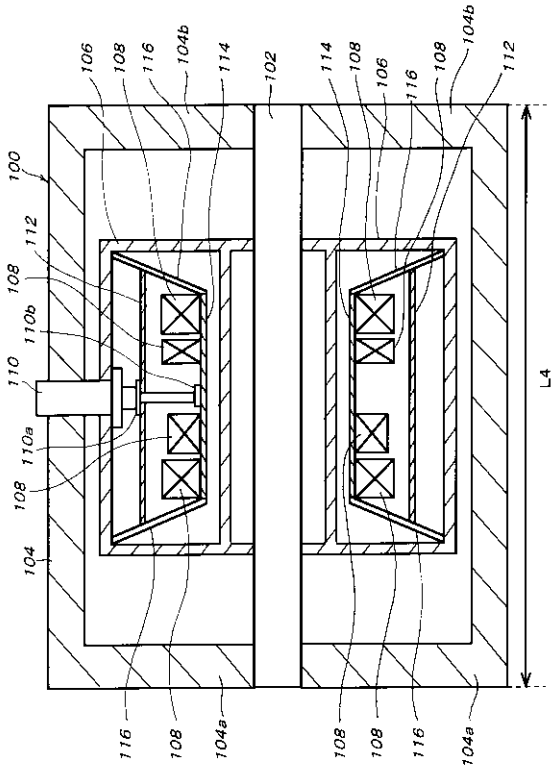
【図４】図３に示すＥＣＲイオン源に用いられる本発明による伝導冷却型超伝導磁石装置の具体的な構成例を示す概念断面構成説明図である。

【図５】ＥＣＲイオン源に用いられる本発明による液体ヘリウムを使用して超伝導ソレノイドコイルを冷却する超伝導磁石装置の概念断面構成説明図である。

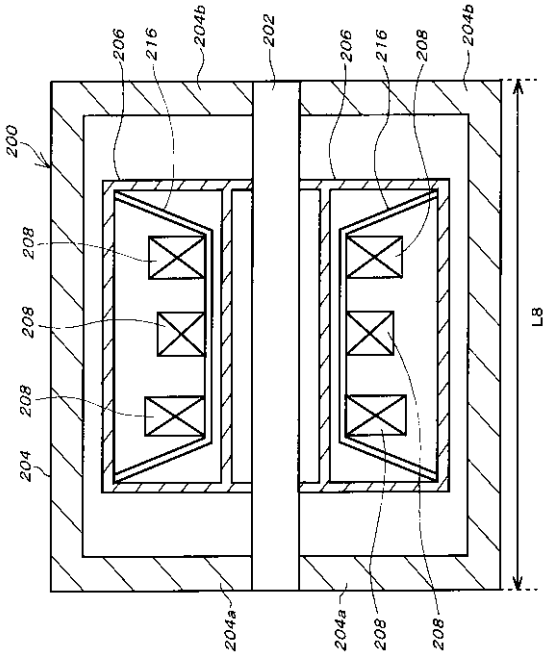
【符号の説明】

１０　本発明による伝導冷却型超伝導磁石装置
１２、２２　補助ヨーク
２０　本発明による液体ヘリウムを使用して超伝導ソレノイドコイルを冷却する超伝導磁石装置
１００　従来の伝導冷却型超伝導磁石装置
１０２、２０２　チャンバー
１０４、２０４　ヨーク
１０４ａ、１０４ｂ，２０４ａ、２０４ｂ　端部
１０６　真空槽
１０８、２０８　超伝導ソレノイドコイル
１１０　ＧＭ冷凍機１１０
１１０ａ　第１冷却ステージ
１１０ｂ　第２冷却ステージ
１１２　熱シールド板
１１４　伝熱板
１１６、２１６　支持部材
２００　従来の液体ヘリウムを使用して超伝導ソレノイドコイルを冷却する超伝導磁石装置
２０６　槽

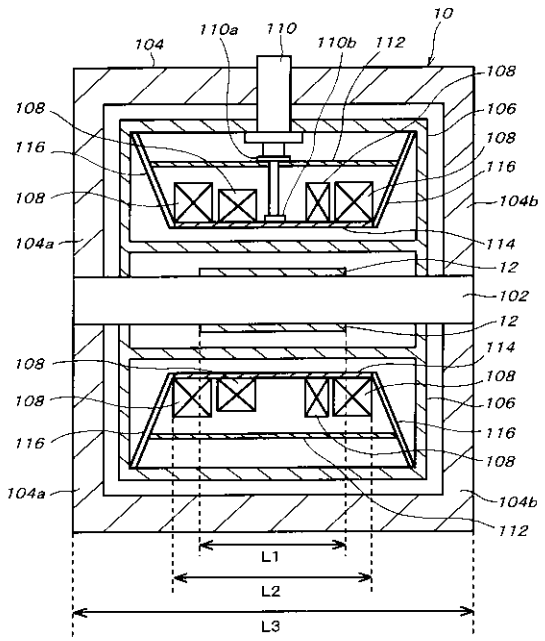
【図１】


L4

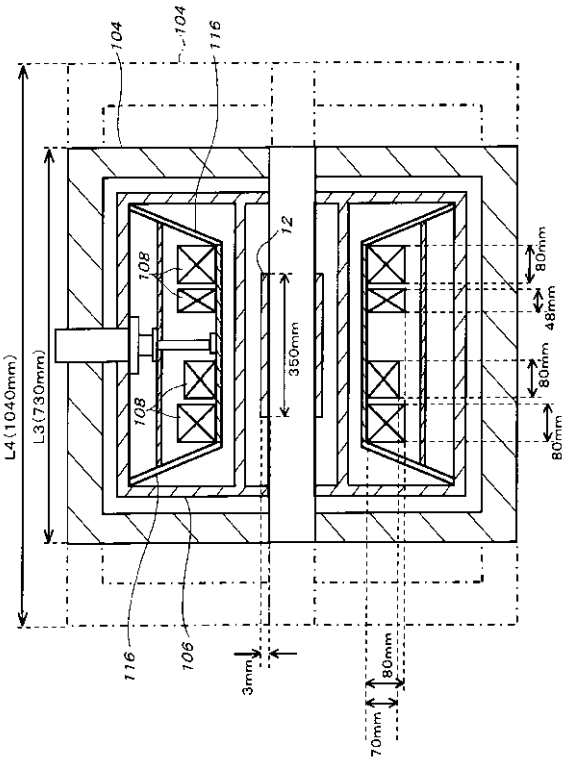
【図２】


L8

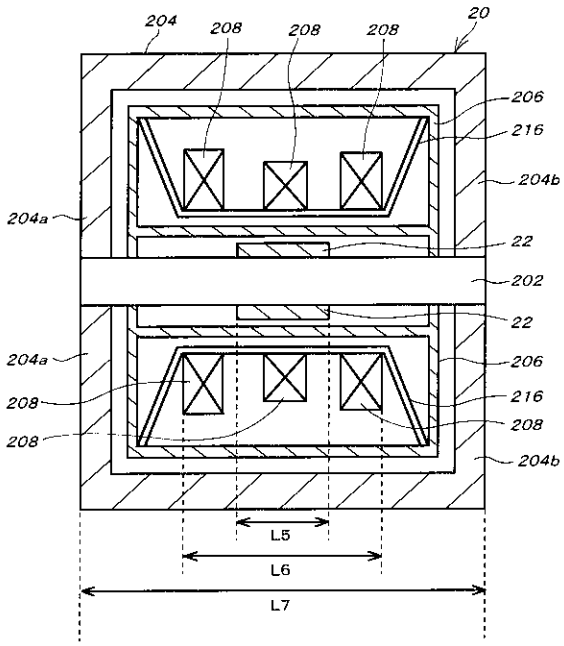
【図３】


L1
L2
L3

【図４】


L4(1040mm)
L3(730mm)
350mm
80mm
48mm
80mm
80mm
3mm
70mm
80mm

【図５】


204
208
208
208
20
206
216
204b
204a
22
202
22
204a
206
208
216
208
208
204b
L5
L6
L7

フロントページの続き

(72)発明者　加瀬　昌之
埼玉県和光市広沢２番１号　理化学研究所内
(72)発明者　矢野　安重
埼玉県和光市広沢２番１号　理化学研究所内