(19)日本国特許庁(JP)　(12)公表特許公報(A)　(11)特許出願公表番号
特表2006-520068
(P2006-520068A)
(43)公表日　平成18年8月31日(2006.8.31)

(51)Int.Cl.			F I			テーマコード（参考）
H05G	***1/08***	***(2006.01)***	H05G	1/08	Z	4C092
G21K	***5/00***	***(2006.01)***	G21K	5/00	S	
G21K	***5/02***	***(2006.01)***	G21K	5/02	X	
G21F	***1/08***	***(2006.01)***	G21F	1/08		

審査請求 未請求　予備審査請求 未請求　（全 32 頁）

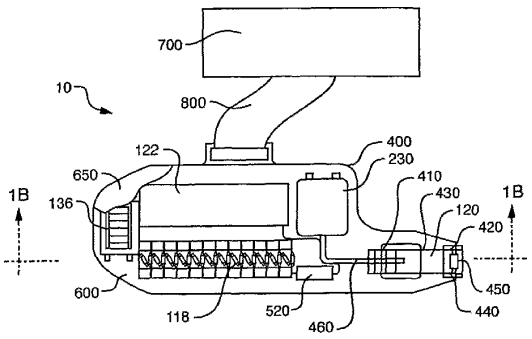
(21)出願番号　特願2006-503775 (P2006-503775)
(86)(22)出願日　平成16年2月20日 (2004.2.20)
(85)翻訳文提出日　平成17年10月13日 (2005.10.13)
(86)国際出願番号　PCT/US2004/005190
(87)国際公開番号　WO2004/075610
(87)国際公開日　平成16年9月2日 (2004.9.2)
(31)優先権主張番号　10/370,783
(32)優先日　平成15年2月20日 (2003.2.20)
(33)優先権主張国　米国 (US)
(31)優先権主張番号　10/763,051
(32)優先日　平成16年1月22日 (2004.1.22)
(33)優先権主張国　米国 (US)

(71)出願人　505310116
インフォ，インク．
アメリカ合衆国　マサチューセッツ州　サドベリー　ウッドメアー　ドライブ　１４
(71)出願人　505310105
ニュートン　サイエンティフィック　インク．
アメリカ合衆国　マサチューセッツ州　ケンブリッジ　ベント　ストリート　２４５
(74)代理人　100098095
弁理士　高田　武志
(72)発明者　フェダ，フランシス，エム．
アメリカ合衆国　マサチューセッツ州　サドベリー　ウッドメアー　ドライブ　１４

最終頁に続く

(54)【発明の名称】集積化Ｘ線源モジュール

(57)【要約】
制御付きの強度及び明確なスペクトルのＸ線を放出する小型真空Ｘ線管を含む、自蔵式の小型、軽量で電力効率が高く放射線遮蔽されたモジュールについて記述されている。ビーム電流及び電圧の監視及び維持に、帰還制御回路が使用される。Ｘ線管、高電圧電源及び共振コンバータが固体の高電圧絶縁材に封入される。このモジュールは、複雑な形状寸法に構成可能であり、市販の小型、コンパクト、低電圧バッテリによって電力供給することができる。



【特許請求の範囲】
【請求項１】
Ｘ線を放出するＸ線管と、前記Ｘ線管に結合されて、前記Ｘ線管を伴う使用のための高電圧を供給する高電圧電源と、前記Ｘ線管を前記高電圧電源に接続する電気接続とを包含しており、前記Ｘ線管、前記高電圧電源及び前記電気接続は、放射線不透過材料を含む固体の電気的絶縁材に封入されており、前記放射線不透過材料は、タングステン、鉛、カルシウム、タンタル、錫、モリブデン、銅、ストロンチウム、バリウム、アルミニウム、ビスマス、アルミナ、酸化鉛、硫酸バリウム、酸化ビスマス、炭酸カルシウム並びにこれらの材料の任意のいくつかを含む化合物及び混合物からなるグループから選択された材料を含む放射線遮蔽付きＸ線モジュール。
【請求項２】
前記高電圧電源を駆動する共振コンバータをさらに包含する請求項１に記載の放射線遮蔽付きＸ線モジュール。
【請求項３】
前記共振コンバータに接続された昇圧トランスと、前記昇圧トランスによって駆動される高電圧倍増器とをさらに包含している請求項２に記載の放射線遮蔽付きＸ線モジュール。
【請求項４】
前記放射線不透過材料の量は、あらかじめ決定された放射線減衰の程度に従って選択される請求項１に記載の放射線遮蔽付きＸ線モジュール。
【請求項５】
電気的遮蔽を提供すべく前記固体の電気的絶縁材を覆う薄い導電層をさらに包含している請求項１に記載の放射線遮蔽付きＸ線モジュール。
【請求項６】
前記薄い導電層は、導電性金属性塗料、薄い金属箔及び金属化高分子のうちの一つから形成されている請求項５に記載の放射線遮蔽付きＸ線モジュール。
【請求項７】
前記薄い導電層は、銅及びアルミニウムのうちの少なくとも一つから作られた薄い金属箔から形成されている請求項６に記載の放射線遮蔽付きＸ線モジュール。
【請求項８】
前記薄い金属箔は、前記固体の電気的絶縁材に接着剤を用いて直接的に接着されている請求項７に記載の放射線遮蔽付きＸ線モジュール。
【請求項９】
前記固体の電気的絶縁材は、複雑な形状に成形されている請求項１に記載の放射線遮蔽付きＸ線モジュール。
【請求項１０】
前記Ｘ線管と前記高電圧電源とは、同軸ケーブルによって接続されている請求項１に記載の放射線遮蔽付きＸ線モジュール。
【請求項１１】
前記放射線遮蔽付きＸ線モジュールは、携帯Ｘ線機器に含められている請求項１に記載の放射線遮蔽付きＸ線モジュール。
【請求項１２】
Ｘ線管と、共振コンバータと、前記共振コンバータによって駆動される高電圧電源と、前記Ｘ線管を前記高電圧電源に接続し、前記高電圧電源を前記共振コンバータに接続する電気接続とを包含しており、前記Ｘ線管、前記高電圧電源及び前記Ｘ線管を前記高電圧電源に接続する電気接続は、固体の電気的絶縁材に封入されており、前記電気的絶縁材は、タングステン、鉛、カルシウム、タンタル、錫、モリブデン、銅、ストロンチウム、バリウム、アルミニウム、ビスマス、アルミナ、酸化鉛、硫酸バリウム、酸化ビスマス、炭酸カルシウム並びにこれらの材料の任意のいくつかを含む化合物及び混合物からなるグループから選択された放射線不透過材料を含むＸ線モジュール。

【請求項１３】
前記固体の電気的絶縁材は、エポキシ、ウレタン及びシリコンポッティング化合物のうちの少なくとも一つを包含している請求項１２に記載のＸ線モジュール。
【請求項１４】
電気的遮蔽を提供すべく前記固体の電気的絶縁材を覆う薄い導電層をさらに包含している請求項１２に記載のＸ線モジュール。
【請求項１５】
前記薄い導電層は、導電性金属性塗料、薄い金属箔及び金属化高分子のうちの一つから形成されている請求項１４に記載のＸ線モジュール。
【請求項１６】
前記薄い導電層は、銅及びアルミニウムのうちの少なくとも一つから作られた薄い金属箔から形成されている請求項１５に記載のＸ線モジュール。
【請求項１７】
前記薄い金属箔は、前記固体の電気的絶縁材に接着剤を用いて直接的に接着されている請求項１６に記載のＸ線モジュール。
【請求項１８】
前記固体の電気的絶縁材は、複雑な形状に成形されている請求項１２に記載のＸ線モジュール。
【請求項１９】
前記Ｘ線管と前記高電圧電源とは、同軸ケーブルによって接続されている請求項１２に記載のＸ線モジュール。
【請求項２０】
前記Ｘ線モジュールは、携帯Ｘ線機器に含められている請求項１２に記載のＸ線モジュール。
【請求項２１】
Ｘ線放出において使用される電子素子を、放射線不透過材料を含む固体の成型ブロックに封入し、前記固体の成型ブロックを導電層によって取り囲むことを包含しており、前記放射線不透過材料は、タングステン、鉛、カルシウム、タンタル、錫、モリブデン、銅、ストロンチウム、バリウム、アルミニウム、ビスマス、アルミナ、酸化鉛、硫酸バリウム、酸化ビスマス、炭酸カルシウム並びにこれらの材料の任意のいくつかを含む化合物及び混合物からなるグループから選択された材料を含んでいるＸ線モジュールを製造する方法。
【請求項２２】
前記固体の成型ブロックは、エポキシ、ウレタン及びシリコンポッティング化合物のうちの少なくとも一つを包含する請求項２１に記載の方法。
【請求項２３】
電源及び制御回路の素子を、放射線不透過材料を含む固体の成型ブロックに封入することをさらに包含する請求項２１に記載の方法。
【請求項２４】
二分割エポキシ樹脂成型システムを使用して前記固体の成型ブロックを成型することをさらに包含する請求項２１に記載の方法。
【請求項２５】
前記放射線不透過材料の量は、あらかじめ決定された放射線減衰の程度に従って選択される請求項２１に記載の方法。
【請求項２６】
前記導電層は、導電性金属性塗料、薄い金属箔及び金属化高分子のうちの一つから形成される請求項２１に記載の方法。
【請求項２７】
前記導電層は、銅及びアルミニウムのうちの少なくとも一つから作られた薄い金属箔から形成される請求項２６に記載の方法。

【請求項２８】
接着剤を用いて前記薄い金属箔を前記固体の電気的絶縁材に対して直接的に接着することをさらに包含する請求項２７に記載の方法。
【請求項２９】
前記Ｘ線モジュールは、携帯Ｘ線機器に含められる請求項２１に記載の方法。
【請求項３０】
Ｘ線を放出するＸ線管と、前記Ｘ線管に結合されて、前記Ｘ線管を伴う使用のための高電圧を供給する高電圧電源と、前記Ｘ線管を前記高電圧電源に接続する電気接続とを包含しており、前記Ｘ線管は、放射線不透過材料を含む固体の電気的絶縁材に封入されており、前記放射線不透過材料は、タングステン、鉛、カルシウム、タンタル、錫、モリブデン、銅、ストロンチウム、バリウム、アルミニウム、ビスマス、アルミナ、酸化鉛、硫酸バリウム、酸化ビスマス、炭酸カルシウム並びにこれらの材料の任意のいくつかを含む化合物及び混合物からなるグループから選択された材料を含んでいる放射線遮蔽付きＸ線モジュール。
【請求項３１】
前記放射線遮蔽付きＸ線モジュールは、携帯Ｘ線機器に含められる請求項３０に記載の放射線遮蔽付きＸ線モジュール。
【請求項３２】
前記高電圧電源を駆動する共振コンバータをさらに包含する請求項３０に記載の放射線遮蔽付きＸ線モジュール。
【請求項３３】
前記共振コンバータに接続された昇圧トランスと、前記昇圧トランスによって駆動される高電圧倍増器とをさらに包含する請求項３０に記載の放射線遮蔽付きＸ線モジュール。
【請求項３４】
前記放射線不透過材料の量は、あらかじめ決定された放射線減衰の程度に従って選択される請求項３０に記載の放射線遮蔽付きＸ線モジュール。
【請求項３５】
電気的遮蔽を提供すべく前記固体の電気的絶縁材を覆う薄い導電層をさらに包含している請求項３０に記載の放射線遮蔽付きＸ線モジュール。
【請求項３６】
前記薄い導電層は、導電性金属性塗料、薄い金属箔及び金属化高分子のうちの一つから形成されている請求項３５に記載の放射線遮蔽付きＸ線モジュール。
【請求項３７】
前記薄い導電層は、銅及びアルミニウムのうちの少なくとも一つから作られた薄い金属箔から形成されている請求項３６に記載の放射線遮蔽付きＸ線モジュール。
【請求項３８】
前記薄い金属箔は、前記固体の電気的絶縁材に接着剤を用いて直接的に接着されている請求項３７に記載の放射線遮蔽付きＸ線モジュール。
【請求項３９】
前記固体の電気的絶縁材は、複雑な形状に成形されている請求項３０に記載の放射線遮蔽付きＸ線モジュール。
【請求項４０】
前記Ｘ線管と前記高電圧電源とは、同軸ケーブルによって接続されている請求項３０に記載の放射線遮蔽付きＸ線モジュール。
【請求項４１】
前記放射線不透過材料は、硫酸バリウム又はタングステン、鉛若しくはビスマスの酸化物である請求項３０に記載の放射線遮蔽付きＸ線モジュール。
【請求項４２】
Ｘ線を放出するＸ線管と、前記Ｘ線管の電子ビーム電流の測定に基づく第一の帰還信号を使用して前記Ｘ線管の電子ビーム電流を制御する電子ビーム電流制御エレクトロニクス

と、電圧検知に基づく第二の帰還信号を使用して高電圧電源を制御する高電圧制御エレクトロニクスとを包含しており、共振コンバータが前記高電圧電源を駆動し、ビーム電流検知抵抗が前記Ｘ線管の陽極に接続されており、前記ビーム電流検知抵抗が前記第一の帰還信号を発生させるＸ線発生システム。

【請求項４３】

電圧調整器は、固定された入力電圧を前記共振コンバータに与える請求項４２に記載のシステム。

【請求項４４】

前記システムは、逓減バッテリ電力に適合されかつ構成されており、前記共振コンバータの最大出力は、前記バッテリの電圧と独立である請求項４２に記載のシステム。

【請求項４５】

前記システムは、携帯Ｘ線機器に含められている請求項４２に記載のシステム。

【請求項４６】

Ｘ線を放出するＸ線管と、前記Ｘ線管に結合され、前記Ｘ線管を伴う使用のために高電圧を供給し、共振コンバータによって駆動される高電圧電源と、前記高電圧電源を制御し、電圧帰還信号に応答する制御回路とを包含しており、前記Ｘ線管は、フィラメントを含んでいるＸ線を発生するシステム。

【請求項４７】

前記電圧帰還信号を生成するための手段をさらに包含する請求項４６に記載のシステム。

【請求項４８】

前記電圧帰還信号を生成するための前記手段は、前記高電圧電源の実際の電圧出力を測定すべく使用される高抵抗分圧器を含む請求項４７に記載のシステム。

【請求項４９】

前記高電圧電源は、前記共振コンバータに接続される昇圧トランスと、前記昇圧トランスによって駆動される高電圧倍増器とを含む請求項４６に記載のシステム。

【請求項５０】

前記システムは、携帯Ｘ線機器に含められる請求項４６に記載のシステム。

【請求項５１】

Ｘ線を放出するＸ線管と、前記Ｘ線管に結合されて、前記Ｘ線管を伴う使用のための高電圧を供給する高電圧電源と、前記Ｘ線管を前記高電圧電源に接続する電気接続とを包含しており、前記Ｘ線管、前記高電圧電源及び前記電気接続は、放射線不透過材料を含む固体の電気的絶縁材に封入されている放射線遮蔽付きＸ線モジュール。

【請求項５２】

前記高電圧電源を駆動する共振コンバータをさらに包含する請求項５１に記載の放射線遮蔽付きＸ線モジュール。

【請求項５３】

前記共振コンバータに接続された昇圧トランスと、前記昇圧トランスによって駆動される高電圧倍増器とをさらに包含する請求項５１に記載の放射線遮蔽付きＸ線モジュール。

【請求項５４】

前記放射線不透過材料は、酸化タングステン、酸化鉛、炭酸カルシウム、鉛化合物、硫酸バリウム、タングステン化合物及びアルミナのうちの少なくとも一つを含む請求項５１に記載の放射線遮蔽付きＸ線モジュール。

【請求項５５】

前記放射線不透過材料の量は、あらかじめ決定された放射線減衰の程度に従って選択されている請求項５１に記載の放射線遮蔽付きＸ線モジュール。

【請求項５６】

電気的遮蔽を提供すべく前記固体の電気的絶縁材を覆う薄い導電層をさらに包含している請求項５１に記載の放射線遮蔽付きＸ線モジュール。

【請求項５７】

前記薄い導電層は、導電性金属性塗料、薄い金属箔及び金属化高分子のうちの一つから形成されている請求項５６に記載の放射線遮蔽付きＸ線モジュール。
【請求項５８】
前記薄い導電層は、銅及びアルミニウムのうちの少なくとも一つから作られた薄い金属箔から形成されている請求項５７に記載の放射線遮蔽付きＸ線モジュール。
【請求項５９】
前記薄い金属箔は、前記固体の電気的絶縁材に接着剤を用いて直接的に接着されている請求項５８に記載の放射線遮蔽付きＸ線モジュール。
【請求項６０】
前記固体の電気的絶縁材は、複雑な形状に成形されている請求項５１に記載の放射線遮蔽付きＸ線モジュール。
【請求項６１】
前記Ｘ線管と前記高電圧電源とは、同軸ケーブルによって接続されている請求項５１に記載の放射線遮蔽付きＸ線モジュール。
【請求項６２】
前記放射線遮蔽付きＸ線モジュールは、携帯Ｘ線機器に含められている請求項５１に記載の放射線遮蔽付きＸ線モジュール。
【請求項６３】
Ｘ線管と、共振コンバータと、前記共振コンバータによって駆動される高電圧電源と、前記Ｘ線管を前記高電圧電源に接続し、前記高電圧電源を前記共振コンバータに接続する電気接続とを包含しており、前記Ｘ線管、前記高電圧電源及び前記Ｘ線管を前記高電圧電源に接続する電気接続は、固体の電気的絶縁材に封入されているＸ線モジュール。
【請求項６４】
前記固体の電気的絶縁材は、放射線不透過材料を含む請求項６３に記載のＸ線モジュール。
【請求項６５】
前記固体の電気的絶縁材は、エポキシ、ウレタン及びシリコンポッティング化合物のうちの少なくとも一つから形成されている請求項６４に記載のＸ線モジュール。
【請求項６６】
電気的遮蔽を提供すべく前記固体の電気的絶縁材を覆う薄い導電層をさらに包含している請求項６４に記載のＸ線モジュール。
【請求項６７】
前記薄い導電層は、導電性金属性塗料、薄い金属箔及び金属化高分子のうちの一つから形成されている請求項６６に記載のＸ線モジュール。
【請求項６８】
前記薄い導電層は、銅及びアルミニウムのうちの少なくとも一つから作られた薄い金属箔から形成されている請求項６７に記載のＸ線モジュール。
【請求項６９】
前記薄い金属箔は、前記固体の電気的絶縁材に接着剤を用いて直接的に接着されている請求項６８に記載のＸ線モジュール。
【請求項７０】
前記固体の電気的絶縁材は、複雑な形状に成形されている請求項６３に記載のＸ線モジュール。
【請求項７１】
前記Ｘ線管と前記高電圧電源とは、同軸ケーブルによって接続されている請求項６３に記載のＸ線モジュール。
【請求項７２】
前記Ｘ線モジュールは、携帯Ｘ線機器に含められている請求項６３に記載のＸ線モジュール。
【請求項７３】

フィラメントを有し、Ｘ線を放出するＸ線管と、共振コンバータと、前記共振コンバータによって駆動される高電圧電源と、低電圧制御エレクトロニクスと、前記Ｘ線管を前記高電圧電源に接続し、前記低電圧制御エレクトロニクスを前記共振コンバータに接続し、かつ前記共振コンバータを前記高電圧電源に接続する電気接続とを包含するＸ線モジュール。

【請求項７４】

前記Ｘ線管、高電圧電源及び共振コンバータは、固体の電気的絶縁材に封入されている請求項７３に記載のＸ線モジュール。

【請求項７５】

前記固体の電気的絶縁材は、放射線不透過材料を含む請求項７３に記載のＸ線モジュール。

【請求項７６】

前記Ｘ線管、高電圧電源及び共振コンバータは、固体の電気的絶縁材に封入されている請求項７３に記載のＸ線モジュール。

【請求項７７】

前記固体の電気的絶縁材は、放射線不透過材料を含む請求項７６に記載のＸ線モジュール。

【請求項７８】

前記固体の電気的絶縁材は、エポキシを含む請求項７６に記載のＸ線モジュール。

【請求項７９】

前記放射線不透過材料は、前記エポキシ全体にわたって均一分布の酸化鉛の粒子から作られている請求項７８に記載のＸ線モジュール。

【請求項８０】

前記放射線不透過材料は、前記エポキシ全体にわたって均一分布の酸化タングステンの粒子から作られている請求項７８に記載のＸ線モジュール。

【請求項８１】

前記放射線不透過材料は、前記エポキシ全体にわたって均一分布の硫酸バリウムの粒子から作られている請求項７８に記載のＸ線モジュール。

【請求項８２】

前記封入材料は、複雑な形状に成形されている請求項７６に記載のＸ線モジュール。

【請求項８３】

前記封入材の外側表面に薄い導電性金属膜が蒸着されている請求項７６に記載のＸ線モジュール。

【請求項８４】

前記封入材の外側表面に適合する薄い導電性金属層が当該表面に接着されている請求項７６に記載のＸ線モジュール。

【請求項８５】

前記Ｘ線管と前記高電圧電源とは、同軸ケーブルによって接続されている請求項７３に記載のＸ線モジュール。

【請求項８６】

前記共振コンバータは、振幅変調のための手段を含む請求項７３に記載のＸ線モジュール。

【請求項８７】

前記低電圧制御エレクトロニクスは、前記高電圧電源に直接的に結合されるプリント回路基板に配置されている請求項７３に記載のＸ線モジュール。

【請求項８８】

前記低電圧制御エレクトロニクスは、柔軟な低電圧ケーブルによって前記高電圧電源に取り付けられるプリント回路基板に配置されている請求項７３に記載のＸ線モジュール。

【請求項８９】

前記低電圧制御エレクトロニクスは、固定及び可変ＤＣ電源入力電圧のうちの一つによ

って電力供給されている請求項７３に記載のＸ線モジュール。
【請求項９０】
複数の異なるＸ線管が、前記低電圧制御エレクトロニクスのアーキテクチャと互換性を有する請求項７３に記載のＸ線モジュール。
【請求項９１】
前記低電圧制御エレクトロニクスのアーキテクチャは、比例－積分－微分帰還制御アーキテクチャを採用する請求項７３に記載のＸ線モジュール。
【請求項９２】
前記低電圧制御エレクトロニクスは、フィラメント加熱電流を維持する手段を含む請求項７３に記載のＸ線モジュール。
【請求項９３】
前記低電圧制御エレクトロニクスは、前記Ｘ線管の電子ビーム電流及び電子ビーム電圧のうちの少なくとも一つからの少なくとも一つの帰還信号に応答する請求項７３に記載のＸ線モジュール。
【請求項９４】
前記Ｘ線モジュールは、携帯Ｘ線機器に含められている請求項７３に記載のＸ線モジュール。
【請求項９５】
Ｘ線放出において使用される電子素子を、放射線不透過材料を含む固体の成型ブロックに封入し、前記固体の成型ブロックを導電層によって取り囲むことを包含しており、前記放射線不透過材料は、酸化タングステン、酸化鉛、炭酸カルシウム、硫酸バリウム、鉛化合物、タングステン化合物、鉛、タングステン及びアルミナ並びにそれらの材料の任意の組み合わせのうちの少なくとも一つを含むＸ線モジュールを製造する方法。
【請求項９６】
前記固体の成型ブロックは、エポキシ、ウレタン及びシリコンポッティング化合物のうちの少なくとも一つから形成される請求項９５に記載の方法。
【請求項９７】
電源及び制御回路の素子を、放射線不透過材料を含む固体の成型ブロックに封入することをさらに包含する請求項９５に記載の方法。
【請求項９８】
二分割エポキシ樹脂成型システムを使用して前記固体の成型ブロックを成型することをさらに包含する請求項９５に記載の方法。
【請求項９９】
前記放射線不透過材料の量は、あらかじめ決定された放射線減衰の程度に従って選択される請求項９５に記載の方法。
【請求項１００】
前記導電層は、導電性金属性塗料、薄い金属箔及び金属化高分子のうちの一つから形成される請求項９５に記載の方法。
【請求項１０１】
前記導電層は、銅及びアルミニウムのうちの少なくとも一つから作られた薄い金属箔から形成される請求項１００に記載の方法。
【請求項１０２】
接着剤を用いて前記薄い金属箔を前記固体の電気的絶縁材に直接的に接着することをさらに包含する請求項１０１に記載の方法。
【請求項１０３】
前記Ｘ線モジュールは、携帯Ｘ線機器に含められる請求項９５に記載の方法。
【請求項１０４】
放出された電子ビーム電流の電流検知に基づく第一の帰還信号を使用して電子ビーム電流を制御する電子ビーム電流制御エレクトロニクスと、電圧検知に基づく第二の帰還信号を使用して高電圧電源を制御する高電圧制御エレクトロニクスとを包含しており、ビーム

電流検知抵抗はＸ線管の陽極に接続されており、前記ビーム電流検知抵抗は前記第一の帰還信号を発生させるべく使用されており、共振コンバータは、前記高電圧電源を駆動する制御エレクトロニクス。

【請求項１０５】

電子ビーム電流を制御する電子ビーム電流制御エレクトロニクスにおいて使用される第一の帰還信号を生成し、高電圧電源を制御する高電圧制御エレクトロニクスにおいて使用される第二の帰還信号を生成することを含み、前記第一の帰還信号は、放出されたビーム電流の電流検知に基づいており、前記第一の帰還信号は、Ｘ線管の陽極に接続されたビーム電流検知抵抗を使用して発生され、前記第二の帰還信号は、電圧検知に基づいており、共振コンバータは、前記高電圧電源を駆動する、高電圧電源によって駆動されるＸ線放出装置の電子ビーム電流及び電圧を制御するための方法。

【請求項１０６】

Ｘ線を放出するＸ線管と、前記Ｘ線管に結合され、前記Ｘ線管を伴う使用のための高電圧を供給する高電圧電源と、前記Ｘ線管を前記高電圧電源に接続する電気接続とを包含し、前記Ｘ線管は、放射線不透過材料を含む固体の電気的絶縁材に封入されている放射線遮蔽付きＸ線モジュール。

【請求項１０７】

前記放射線遮蔽付きＸ線モジュールは、携帯Ｘ線機器に含められている請求項１０６に記載の放射線遮蔽付きＸ線モジュール。

【請求項１０８】

前記高電圧電源を駆動する共振コンバータをさらに包含する請求項１０６に記載の放射線遮蔽付きＸ線モジュール。

【請求項１０９】

前記共振コンバータに接続された昇圧トランスと、前記昇圧トランスによって制御される高電圧倍増器とをさらに包含する請求項１０６に記載の放射線遮蔽付きＸ線モジュール。

【請求項１１０】

前記放射線不透過材料は、酸化タングステン、酸化鉛、硫酸バリウム、炭酸カルシウム、鉛化合物、タングステン化合物、鉛、タングステン及びアルミナ並びにそれらの材料の任意の組み合わせのうちの少なくとも一つを含む請求項１０６に記載の放射線遮蔽付きＸ線モジュール。

【請求項１１１】

前記放射線不透過材料の量は、あらかじめ決定された放射線減衰の程度に従って選択されている請求項１０６に記載の放射線遮蔽付きＸ線モジュール。

【請求項１１２】

電気的遮蔽を提供すべく前記固体の電気的絶縁材を覆う薄い導電層をさらに包含している請求項１０６に記載の放射線遮蔽付きＸ線モジュール。

【請求項１１３】

前記薄い導電層は、導電性金属性塗料、薄い金属箔及び金属化高分子のうちの一つから形成されている請求項１１２に記載の放射線遮蔽付きＸ線モジュール。

【請求項１１４】

前記薄い導電層は、銅及びアルミニウムのうちの少なくとも一つから作られた薄い金属箔から形成されている請求項１１３に記載の放射線遮蔽付きＸ線モジュール。

【請求項１１５】

前記薄い金属箔は、前記固体の電気的絶縁材に接着剤を用いて直接的に接着されている請求項１１４に記載の放射線遮蔽付きＸ線モジュール。

【請求項１１６】

前記固体の電気的絶縁材は、複雑な形状に成形されている請求項１０６に記載の放射線遮蔽付きＸ線モジュール。

【請求項１１７】

前記Ｘ線管と前記高電圧電源は、同軸ケーブルによって接続されている請求項１０６に記載の放射線遮蔽付きＸ線モジュール。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【０００１】

本願は、概してＸ線発生装置に関し、より詳細には、小型、軽量、かつ電力効率の高いＸ線源モジュールに関する。

【背景技術】

【０００２】

Ｘ線システムを含む装置は、たとえば金属、鉱石、土壌、水、塗料及びそのほかの材料のＸＲＦ（Ｘ線蛍光）分析、セキュリティ目的のためのタガント（ｔａｇｇａｎｔ）材料の識別及び穿孔における材料の分析を含む種々の目的に関する分野において使用されている。最近まで現場携帯ＸＲＦ機器は、要求されるＸ線束を提供すべくＣｄ－１０９のような放射性線源を使用していた。しかしながら、放射性線源の強度は時間とともに減衰して頻繁な再較正を必要とし、また放射性線源は、輸送、保管及び廃棄に関して厳格な規制対象でもある。それに加えて放射性線源を不使用時に止めることが不可能であり、その種の線源に関連する安全性の問題をさらに悪化させる。

【０００３】

放射性線源の代替として、装置は、ＸＲＦ及びそのほかのＸ線分析応用のための電子Ｘ線源を使用するＸ線システムを含んでいてもよい。約５－１００ｋＶの範囲の電圧において５ワット又はそれ未満の電力レベルで動作するＸ線源は、ほとんどの現場携帯Ｘ線機器のための強度及びスペクトルの要求を満たすことが知られている。実用的な考察としては、小型軽量であり、人間工学的な持ち運び型の筐体内に収まり、乾電池等の軽量バッテリから電力供給され、かつＸ線管からの迷放射が操作者に到達することを防止する放射線遮蔽を組み込んだ現場携帯Ｘ線源があれば望ましい。また、あらかじめ決定された強度の安定したＸ線ビームを提供すべくＸ線源の電圧及び電流を高度に調整（たとえば、０．１％の変動より良好）させることが望ましい。装置は、その動作パラメータが機器内に収容されたほかの電子回路によって外部的に制御可能であるようなものであることも望ましい。従来のＸ線管及びそれと協働するエレクトロニクスは、典型的には、５０ワット又はそれを超えるはるかに高い電力レベルにおいて動作するべく設計される。それらは、現場携帯応用のためには大きさ及び重さにおいて過大であり過度の電力を必要とする。したがって、ＸＲＦ機器及びそのほかの携帯持ち運び型Ｘ線分析機器に使用するための高精度の安定した低電力、軽量、コンパクトな放射線遮蔽付きＸ線源に対する要求がある。

【０００４】

持ち運び型Ｘ線発生装置の放射線遮蔽は特に困難である。Ｘ線遮蔽は、一般に、鉛、タングステン又はモリブデンのような高い原子番号の高密度材料で作られたＸ線源を取り囲む層の形態をとる。５－１００ｋＶにおいて動作するＸ線管は、Ｘ線ターゲットでの電子ビーム焦点スポットから全方向に一様にＸ線を放出することから、所望のＸ線ビームに沿った方向以外の方向の放出が遮蔽されなければならない。実際上は、Ｘ線管自体の壁によって、また冷媒流体（存在する場合）及びＸ線管を囲む電気的絶縁材によって一部の遮蔽が提供されるが、通常これは管に近接する人の被曝の防止に充分ではない。遮蔽材の合計質量を最小化するためには、可能な限りＸ線源に近接させて遮蔽材を装着することが望ましいといえる。しかしながら通常には、これは、前述した冷媒流体及び電気的絶縁材の存在に起因して実際上は可能でない。それに加えて、放射線不透過材料から形成された外部ハウジングによって遮蔽を提供する場合には、ハウジングの割れ又は継ぎ目の排除に極限の注意を払わなければならない。満足のゆく遮蔽は、通常、各継ぎ目に重ね合わせ領域を設けることによって達成されるが、遮蔽材の合計重量がさらに増加する。Ｘ線源に対して遮蔽材を変位不可能に確保することにも最大の注意を払わなければならない。これは、現場において大きな機械的及び温度的応力を受けることのある携帯ユニットにおいて特に重要である。

【発明の開示】
【発明が解決しようとする課題】
【０００５】
したがって、現存するシステムの欠点を克服した現場応用のために使用できる低電力Ｘ線システムがあれば望ましい。
【課題を解決するための手段】
【０００６】
本発明の一つの態様は、Ｘ線を発生するシステムである。Ｘ線管はＸ線を放出する。電子ビーム電流制御エレクトロニクスは、Ｘ線管の電子ビーム電流の測定に基づく第一の帰還信号を使用して当該Ｘ線管の電子ビーム電流を制御する。高電圧制御エレクトロニクスは、電圧検知に基づく第二の帰還信号を使用して高電圧電源を制御し、ここで、共振コンバータは当該高電圧電源を駆動し、ビーム電流検知抵抗はＸ線管の陽極に接続されており、当該ビーム電流検知抵抗は第一の帰還信号を発生させる。
【０００７】
本発明の別の態様は、Ｘ線を発生するシステムである。Ｘ線管はＸ線を放出する。当該Ｘ線管に結合された高電圧電源は、そのＸ線管に使用するための高電圧を供給し、共振コンバータによって駆動される。Ｘ線管はフィラメントを含んでいる。制御回路は当該高電圧電源を制御し、電圧帰還信号に応答する。
【０００８】
本発明のさらに別の態様は、放射線遮蔽付きＸ線モジュールである。Ｘ線管はＸ線を放出する。当該Ｘ線管に結合された高電圧電源は、そのＸ線管に使用するための高電圧を供給する。電気接続は、Ｘ線管を高電圧電源に接続し、ここで、Ｘ線管、高電圧電源及び電気接続は、放射線不透過材料を含む固体の電気的絶縁材に封入される。
【０００９】
本発明のさらに別の態様は、Ｘ線管、共振コンバータ、当該共振コンバータによって駆動される高電圧電源及びＸ線管を高電圧電源に接続し、かつ高電圧電源を共振コンバータに接続する電気接続を包含するＸ線モジュールである。Ｘ線管、高電圧電源及びＸ線管を高電圧電源に接続する電気接続は固体の電気的絶縁材に封入される。
【００１０】
本発明のさらに別の態様は、フィラメントを有し、Ｘ線を放出するＸ線管、共振コンバータ、当該共振コンバータによって駆動される高電圧電源、低電圧制御エレクトロニクス及びＸ線管を高電圧電源に接続し、低電圧制御エレクトロニクスを共振コンバータに接続し、そして共振コンバータを高電圧電源に接続する電気接続を含むＸ線モジュールである。
【００１１】
本発明のさらに別の態様は、Ｘ線放出において使用される電子素子を、放射線不透過材料を含む固体の成型ブロックに封入することと当該固体の成型ブロックを導電層によって取り囲むこととを含むＸ線モジュールを製造する方法である。
【００１２】
本発明の別の態様は、Ｘ線放出器において使用される制御エレクトロニクスである。電子ビーム電流制御エレクトロニクスは、放出されたビーム電流の電流検知に基づく第一の帰還信号を使用して電子ビーム電流を制御する。ビーム電流検知抵抗はＸ線管の陽極に接続される。このビーム電流検知抵抗は、当該第一の帰還信号の発生に使用される。高電圧制御エレクトロニクスは、電圧検知に基づく第二の帰還信号を使用して高電圧電源を制御し、ここで、共振コンバータは高電圧電源を駆動する。
【００１３】
本発明のさらに別の態様は、電子ビーム電流を制御する電子ビーム電流制御エレクトロニクスにおいて使用される第一の帰還信号を生成することと；高電圧電源を制御する高電圧制御エレクトロニクスにおいて使用される第二の帰還信号を生成することとを含む：高電圧電源によって駆動されるＸ線放出装置の電子ビーム電流及び電圧を制御するための方

法であって、第一の帰還信号は放出されたビーム電流の電流検知に基づいており、ここで、第一の帰還信号は、Ｘ線管の陽極に接続されたビーム電流検知抵抗を使用して発生され、第二の帰還信号は電圧検知に基づいており、ここで、共振コンバータは高電圧電源を駆動する。

【００１４】

本発明のさらに別の態様は、Ｘ線を放出するＸ線管、そのＸ線管に使用のための高電圧を供給する当該Ｘ線管に結合された高電圧電源及びＸ線管を高電圧電源に接続する電気接続を含む：放射線遮蔽付きＸ線モジュールである。Ｘ線管は、放射線不透過材料を含む固体の電気的絶縁材に封入される。

【００１５】

本発明の特徴及び利点については、添付図面とともに以下の例示的実施態様の詳細な説明からより明らかなものとなろう。

【発明を実施するための最良の形態】

【００１６】

図１Ａを参照すると、ケーブル８００によってプリント回路基板（ＰＣＢ）７００に接続されたモジュラユニット４００の実施態様１０の一例が示されている。ＰＣＢ７００及びモジュラユニット４００の詳細は、以下の段落の中でより詳細に述べる。モジュラユニット４００は、電気的絶縁ポッティング材６００に入れられており、接地された導電表面６５０によって囲まれている。このユニット４００は、ＰＣＢ７００における低電圧電力及び制御回路によって電力供給され、ＰＣＢ７００は、それに含められている標準のストレージバッテリからの電力を得る。ここで注意が必要であるが、別の実施態様は、ＰＣＢ７００にバッテリが配されない構成でのバッテリを含んでいてもよい。ＰＣＢ７００に含まれる低電圧回路は、高電圧モジュールユニット又はモジュラユニット４００の外に配置してもよく、またそれは絶縁ポッティング材内に配置してもよい。いずれの場合においても、低電圧回路が電気ケーブルを介して又はほかの適切な基板対基板コネクタによってモジュールに接続される。

【００１７】

ここで注意することは、図１Ａの実施態様が、たとえば持ち運び型機器のための応用に使用してもよい近似的な寸法で描かれたシステム１０を示していることである。ほかの実施態様では、特定の応用及び装置に従ってシステム１０とは異なる大きさを使用することがある。

【００１８】

モジュラユニット４００は、エポキシのような硬質、非導電性の高絶縁耐力材６００に封入されており、接地された導電表面６５０は、この実施態様の場合、硬質封入材６００の外側表面に対して接着性のある薄層又は被覆である。

【００１９】

図１Ａは、一実施態様に従った、封入されたユニット４００及び別体のＰＣＢ７００の低電圧電力及び制御回路を示している。ユニット４００は、小型低電力Ｘ線管１２０、高電圧電力供給素子１１８、電圧検知抵抗１２２及びフィラメントトランス２３０を備える。ユニット４００は、標準のストレージバッテリからの電力を得るＰＣＢ７００に含まされてもよい低電圧電力及び制御回路とともに使用されるべく設計されている。

【００２０】

図１Ａにおいて低電圧電力及び制御回路は、単一のプリント回路基板７００に装着され、薄い柔軟な低電圧ケーブル８００によってユニット４００に接続され得る。この構成は、全体的な寸法を縮小し、特定の現存する応用及び新しい応用への本発明の組み込みにおいてより大きな柔軟性を提供することができる。それに代えて、低電圧電力及び制御回路の一部又はすべての部品を封入されたユニット４００内に含めることが可能である。その上、Ｘ線管窓の正面に対する付属品の取り付け又は外部構造に対する前述の装置の取り付け又はその素子の一つの取り付けを可能にすべく、機械的な相互接続機構を上記のものの中に組み込んでもよい。この相互接続機構は、たとえば一連のねじ付き孔又はそのほかの

フランジ及びタブを含む機械的な取り付け機構の形態をとることができる。

【００２１】

ユニット４００の素子は、非導電性の高絶縁耐力材料から作られた固い成型ブロック６００内に封入される。ブロック６００は、エポキシ、ウレタン又はシリコンポッティング化合物から成型することができる。一実施態様においては、ブロックは、エマーソン アンド カミング スタイキャスト（Ｅｍｅｒｓｏｎ ＆ Ｃｕｍｉｎｇ Ｓｔｙｃａｓｔ）２８５０ＦＴのような硬化時に固化する硬質の二分割エポキシ樹脂成型システムから成型される。それに代えて、ブロックを、Ｐ．Ｄ．ジョージ カンパニ（Ｐ．Ｄ．Ｇｅｏｒｇｅ Ｃｏ．）（ミズーリ州セントルイス）の製品番号第２００／６５のような半硬質ウレタン材料から成型してもよい。空隙（エアポケット）は、高電圧絶縁破壊を導き得る強化電界の領域を作り出すので、成型材料が空気を含まないことを確保すべくこの分野で公知の樹脂成型技術を利用することができる。これらの技術は、使用に先行する成型材料の真空脱気及び加圧硬化を含んでもよい。高電圧ブロックは、たとえばＸ線管及び関連エレクトロニクスによって生成される電界を遮蔽すべく、典型的には厚さが１ミルから２ミルの薄い導電層によって囲まれる。

【００２２】

薄い導電層６５０は、好ましくは高電圧ブロックの外側表面に直接的に塗布される。この層は、スーパー シールド コンダクティブ ニッケル コーティング（Ｓｕｐｅｒ Ｓｈｉｅｌｄ Ｃｏｎｄｕｃｔｉｖｅ Ｎｉｃｋｅｌ Ｃｏａｔｉｎｇ）（ＭＧケミカルズ（ＭＧ Ｃｈｅｍｉｃａｌｓ）カナダ、トロント州）のような導電性金属性塗料又は薄い金属箔（たとえば、厚さ１－２ミルのアルミニウム又は銅箔）又は金属化高分子（たとえばアルミニウム化マイラ）から形成してもよい。薄い箔が使用される場合には、適切な接着剤を用いてそれを高電圧ブロックに直接的に接着してもよい。導電層は、典型的には、基本的に高電圧電源及びそのほかのこのＸ線機器内のエレクトロニクスに対して接地電位に維持される。これは、たとえば、電気的に高電圧電源に接続され、被覆が塗布されたときに導電性被覆により覆われる封入されたユニットに接地パッドを備えることによって達成されてもよい。

【００２３】

図１Ａに示されているＸ線管１２０は、ブロックの主部から延びる細い首部の先端に配置されている端部窓（エンド－ウインドウ）管である。空間が制限されている場合であっても、この形状寸法によってＸ線管の出力窓４５０を、照射されるべき領域の近傍に配置することが可能になり、それによって最高可能Ｘ線強度をその場所に与えることができる。この首部は、高電圧モジュールの残りの部分に対して角度を持って配向されることが示されている。

【００２４】

ここで認識されることになろうが、図示の形状寸法は単なる例に過ぎず、高電圧モジュール４００は、特定の応用の要求によって教示されるとおりに、広範各種の形状寸法構成において容易に製造することが可能である。たとえば、いくつかの応用では、側部向き窓（サイド－ルッキングウインドウ）をもったＸ線管が有利になり、別の応用では湾曲した首部が有利になることもあり得る。実際、封入材は、内部素子の電気的機能と両立する実質的に任意の形状寸法にも成型することが可能である。樹脂成型技術は、この分野において周知である。図示の例においては、Ｘ線管１２０は、フィラメントトランス２３０から電力を受ける熱フィラメント電子エミッタを使用する。このほかのエミッタ、たとえばフィラメントトランスを必要としない冷陰極エミッタのようなものを使用することも可能である。

【００２５】

フィラメントトランスの二次側とＸ線管のフィラメントとの間の接続は、フィラメント駆動回路によって発生される電気的ノイズを最小化するために同軸ケーブルを用いて行われる。図１Ａは、内側導体と外側導体との間の空間に電気的絶縁封入材料が充填された硬質の同軸ケーブル４６０によって高電圧発生器及びフィラメントトランスに接続されたＸ

線管を示している。それに代えて、市販されている柔軟な同軸ケーブルを使用することもできる。図１Ａにおいては、高電圧電源素子１１８の高電圧端子が同軸ケーブルの外側導体に接続されて示されており、その外側導体は、次にＸ線管の陰極端４１０に接続されている。それに代えて、同軸ケーブルの内側導体を使用することによって高電圧発生器とＸ線管の陰極との間の接続を行うことも可能である。フィラメントトランスの二次側は、Ｘ線管のフィラメントリードに接続される。この構成においては、フィラメント駆動回路の電流供給及び戻り導体が同軸であり、それによってフィラメントトランスの二次側に接続される回路による電力放出を最小化している。フィラメント回路は、典型的には、もっとも高い電流を低電力Ｘ線モジュールに運ぶことから、フィラメント回路によって生成される電気的ノイズを最小化することが特に重要になる。このことは、ノイズに敏感なＸ線検出回路がＸ線管の近傍に配置されることがある小型の持ち運び型ユニットの場合に特に重要である。

【００２６】

図１Ａの高電圧電源素子１１８、電圧検知抵抗１２２及びフィラメントトランス２３０（必要な場合）は、好ましくは高電圧の領域が互いに近接するようにモジュール内に配置される。同様に、Ｘ線管の高電圧端もまた、Ｘ線機器の形状寸法の制限内にとどめつつ可能な限りほかの高電圧の素子に近づけて配置される。取り囲む封入材の形状は、電源素子と接地された導電性被覆との間に充分な電気的絶縁を提供するように選択される。したがって、動作中に高電圧になる内部素子は、通常はより低い電圧で動作する素子より厚い封入材によって取り囲むようにしてもよい。

【００２７】

封入材の最大の厚さは、内部素子の表面における電界の強化に対して考慮すべき追加の安全要因とともにユニットの最大定格動作電圧によって決定される。たとえば、４０ｋＶの最大電圧で動作するモジュールに関しては、高電圧絶縁は、６２５Ｖ／ミルの公称絶縁耐力をもった０．２５インチ又はそれより小さい成型エポキシ材を使用して達成される。

【００２８】

高電圧電源素子１１８は、たとえばこの分野で周知のようにコックロフト－ウォルトン（Ｃｏｃｋｒｏｆｔ－Ｗａｌｔｏｎ）タイプの電圧倍増器とすることができる。このほかの電源構成、たとえば対称カスケード電圧倍増器及び昇圧トランスを含んでいるものも可能である。この実施態様において電源素子１１８として機能する倍増器は、約７０ｋＨｚの周波数で動作し、巻き線比１２５：１をもった昇圧トランス１３６によって駆動される１２段直列給電倍増器である。端子電圧３５ｋＶのためには、各段の電圧が約２．９ｋＶになっている。高電圧倍増器１１８の出力は、１０ｋオームの電流制限抵抗５２０を介してＸ線管１２０に接続される。電圧検知抵抗１２２は、約１０，０００：１の分圧比及び１－１０Ｇオームの合計抵抗をもった精密分圧器である。

【００２９】

フィラメントトランス２３０は、この実施態様において、一次巻き線、二次巻き線及び磁性体コアを含む。この分野で知られているとおり、二次側の巻数を一次側の巻数で除して定めた巻き線比を調整して制御回路に対してフィラメントの電圧及び電流範囲を整合させることができる。磁性体コアは、“Ｕ”字形、トロイダル、ボビン又はそのほかの通常使用されている磁性体コアの形状寸法とすることができる。コア材料は、好ましくはフェライトとするが、たとえばシリコンスチール、粉末鉄又はメトグラス（ｍｅｔｇｌａｓｓ）のような別の材料としてもよい。ここで述べている実施態様においては、フィラメントトランスは、マグネティックス（Ｍａｇｎｅｔｉｃｓ）部品番号４１８０９－ＴＣのようなトロイダルフェライトコアを使い、一次巻き数３２回及び二次巻き数５回を有する逓降（降圧）トランスである。

【００３０】

図１Ａの実施態様のＸ線管１２０は、好ましくは接地電位での陽極をもって動作する金属セラミックの端部窓（エンド－ウインドウ）Ｘ線管である。図１Ａに戻ると、Ｘ線管１２０は、セラミック絶縁体４３０によって分離された陰極端４１０及び陽極端４２０を含

む。持ち運び型ＸＲＦ機器における使用のための要求を満たすため、このＸ線管は、３５－４０ｋＶの最大動作電圧において、５０－１００マイクロアンペア以下の電子ビーム電流で動作する。これらのパラメータを伴うＸ線管は、適当な小さい寸法のものがいくつかの商業供給者から入手できる。たとえば、モックステック（Ｍｏｘｔｅｋ）（ユタ州オレム）は、概略の寸法が１×０．３８インチの金属セラミック、端部窓（エンド－ウインドウ）の伝達ターゲットＸ線管を製造している。ニュートン　サイエンティフィック　インク（Ｎｅｗｔｏｎ　Ｓｃｉｅｎｔｉｆｉｃ　Ｉｎｃ．）（マサチューセッツ州ケンブリッジ）は、類似した動作パラメータをもった概略の寸法が１．５×０．３４インチの金属セラミック、端部窓（エンド－ウインドウ）のＸ線管を製造している。またＸ－レイ　アンド　スペシャルティ　インストゥルメンツ　インク（Ｘ－Ｒａｙ　ａｎｄ　Ｓｐｅｃｉａｌｔｙ　Ｉｎｓｔｒｕｍｅｎｔｓ　Ｉｎｃ．）（ミシガン州イプシランティ）も寸法が１．５×０．２５インチの類似したＸ線管を製造している。

【００３１】

前述した管は、高電圧で動作するべく設計された電子エミッタ（カソード）アセンブリによって一端が終端され、Ｘ線ターゲット材料の薄い層により電子ビーム側が被覆されたベリリウムＸ線窓を包含するＸ線伝達ターゲットによって他端が終端される真空密閉セラミック管として構成される。市販されているターゲット材料は、Ａｇ、Ｐｄ、Ｗ等を含む。端部窓（エンド－ウインドウ）の接地陽極構成は、Ｘ線ターゲット及び電子ビーム焦点スポットを、図１Ａに例示されているとおり、Ｘ線モジュールの外側表面に近づけて配置することが可能となり、それによって所定の管電流及び電圧について利用可能なＸ線の強度を最大化できるので好ましい。

【００３２】

適切な動作パラメータ及び側部向き（サイド－ルッキング）Ｘ線窓をもった小型Ｘ線管も利用可能であり、いくつかの応用においては好ましいこともある。一例に、オックスフォードＴＲＧ（ＯｘｆｏｒｄＴＲＧ）（カリフォルニア州スコッツバレー）のＴＦ１０００／３０００シリーズＸ線管がある。これまで述べたＸ線管は、すべて、５ワットに満たない電力レベルで動作する熱タングステンフィラメント電子エミッタを使用している。小型冷陰極Ｘ線管もまた、オックスフォードＴＲＧ（ＯｘｆｏｒｄＴＲＧ）によって開発されており、本発明のＸ線モジュール内における使用に適した構成のものが入手できる。冷陰極を含む実施態様においては、電力が必要ないことからフィラメントトランス２３０のような図１Ａの素子を省略してもよい。

【００３３】

図１Ａの実施態様においては、電気的絶縁性の放射線不透過充填材料を高電圧ブロック６００の封入材に追加することによって放射線遮蔽が提供されている。ここで注意する必要があるが、ポッティング化合物への充填材料の混合には、この分野で知られた任意の一又は複数の技術を使用してもよい。この種の充填材料の例としてタングステン、鉛、バリウム、アルミニウム、カルシウム、タンタル、錫、モリブデン、銅、ストロンチウム又はビスマスの化合物（たとえば、酸化物、硫酸塩又は炭酸塩）又はそれらの元素の非化合物形態が挙げられる。その種の化合物は、好適に、所定量の重元素について低い式量をもった安定した化合物である（たとえば、重元素の質量は、化合物内のほかの材料の質量に対して高い必要がある）。それに加えて、充填剤は、エポキシを劣化させるようにエポキシと相互作用すべきでない。封入材６００が、Ｘ線管の高電圧陰極端４１０と電気的に接地された被覆６５０との間に電気的絶縁を提供することから、充填剤もまた、Ｘ線管から被覆６５０に向けられる電圧に耐える充分に高い絶縁耐力を有する必要がある。酸化鉛、酸化タングステン、硫酸バリウム又は酸化ビスマスといった高い原子番号の元素を含む材料は、比較的薄い充填エポキシによって高い度合いの減衰が提供されることになる場合に好ましい。

【００３４】

特定の応用に必要な放射線不透過材料の量は、Ｘ線源の光子エネルギスペクトル及び希望する放射線減衰の程度に依存する。上記のタイプのＸ線源は、最大電圧と電子電荷の積

に等しい最大エネルギをもった連続体（又は制動輻射）光子スペクトルを放出することはよく知られている。したがって、３５ｋＶにおいて動作するＸ線源は、３５ｋｅＶのエンドーポイント光子エネルギをもった広いスペクトルを放出する。厚さ０．５ｍｍの鉛がその種のＸ線源に対して約10^7の減衰率を提供することは、単純な計算によって示すことができる。約１１体積％の酸化鉛を混合した厚さ０．２５インチの酸化鉛含有エポキシの層によって同程度の減衰が提供できることも単純な計算によって示すことができる。たとえば、要求される減衰率を達成すべく、エマーソン　アンド　カミングスタイキャスト（Ｅｍｅｒｓｏｎ　＆　Ｃｕｍｉｎｇ　Ｓｔｙｃａｓｔ）２８５０ＦＴのような標準的なエポキシ樹脂に１－２マイクロメートルの粒子寸法の酸化鉛粉体を混合することができる。

【００３５】

ニューハンプシャー州アマーストのレジンシステムズ（Ｒｅｓｉｎ　Ｓｙｓｔｅｍｓ）のＲＳ－２２３２酸化鉛充填エポキシのような市販されている酸化鉛充填エポキシを使用することもできる。それに代えて、タングステン、鉛、カルシウム、タンタル、錫、モリブデン、銅、ストロンチウム、バリウム、ビスマス又はこれらの任意の組み合わせの化合物（たとえば、酸化物、硫酸塩又は炭酸塩）が充填された樹脂を上記の実施態様に使用することも可能である。これらの元素は、前記充填樹脂が実質的に非導電性である限り、それらの純粋な形で使用してもよい。高い原子番号の元素及びそれらの化合物がＸ線放射の効果的な吸収体となることはよく知られている。したがって、ほかの高い原子番号の元素及びそれらの化合物を単独又は上に列挙した材料との組み合わせにおいて使用してもよい。

【００３６】

図１Ａに示されているとおり、放射線不透過充填エポキシ６００は、Ｘ線出力窓４５０を除いてＸ線管１２０を完全に取り囲む。放射線不透過エポキシ６００は、Ｘ線管の高電圧陰極端４１０と電気的に接地された導電性被覆６５０との間に電気的絶縁を提供する。また放射線不透過エポキシ６００は、Ｘ線管のセラミック高電圧絶縁体４３０の表面に沿った電気的絶縁も提供する。したがって放射線不透過エポキシ６００は、Ｘ線管の全外側表面と直に接触し、それによって所定の所望の放射線減衰率に対して最軽量の構成を提供する。いくつかの応用においては、照射されるべき物質に出力窓を近づけて配置できるようにすべくＸ線出力窓の近傍のエポキシの厚さを減じることは有利であり得る。そのような場合には、図１Ａに示されているように、Ｘ線管の陽極端の周囲に配置されるタングステンのような原子番号の高い材料の中空シリンダ４４０によって追加の放射線遮蔽を提供してもよい。

【００３７】

図１Ｂを参照すると、図１Ａに示したユニット４００の側面図が示されている。

【００３８】

図１Ｃを参照すると、モジュラＸ線源を含むシステムの別の実施態様１２の例が示されている。この実施態様１２は、相互接続ワイヤ１８を使用して電気的に接続されている第一の封入された部分１４及び封入されたＸ線部分１６を含んでいる。別の実施態様においては、必要に応じ、一又は複数の部分の間に電気的接続のための別のタイプの接続を使用することができるが、本実施態様においては、相互接続ワイヤ１８は、たとえば同軸ケーブルであり得る。Ｘ線管は、固体の封入材において分離して部分１６に封入されており、且つ本実施態様においては高電圧電源及びフィラメントトランスを含む第一の封入された部分１４と接続されている。ここで述べた以前の実施態様における場合と同様に、図１Ｃの実施態様においても、封入材６００は、Ｘ線出力窓を除き、Ｘ線管の任意部分又はすべての部分を取り囲むことができる。封入材は、放射線不透過材料を含むことができ、それによってＸ線出力窓によって画定される方向を除くすべての方向においてＸ線管の出力の効果的な放射線遮蔽を提供する。Ｘ線管と高電圧電源とフィラメントトランスとの間の電気接続は、柔軟な又は硬質の電気ケーブルを使用して行うことができる。電気的ノイズの最大遮蔽を提供するため、このケーブルを好ましくは同軸ケーブルとしてもよい。この図１Ｃの実施態様においては、導電性被覆６５０は、封入されたＸ線管ユニットを取り囲み

、電気ケーブルを介して高電圧電源の接地端に接続されている。

【００３９】

上記の実施態様１２は、空間が非常に制限されるＸ線機器の部分の中にＸ線管が配置されるいくつかの応用においては利点を有し得る。ここで認識されるべきであるが、Ｘ線モジュールの電気素子の他の配置構成も可能であり、本発明のＸ線ユニットが組み込まれるＸ線機器の正確な構成に応じて特定の応用においては好ましいこともある。たとえば、フィラメントトランスは、電気ケーブルをもって高電圧電源と接続されたフィラメントトランスとＸ線管を含むユニットとＸ線管とともに封入されてもよい。

【００４０】

ある実施態様は、二を超える別個のシステム又は装置の素子群を含むことができ、またここで述べたものと異なる素子群を含むこともできる。それに加えて、ここで１０及び１２として示される実施態様は、封入された部分の中に素子群を含むが、１又はそれ以上の群においては、それぞれの実施及び応用の詳細に従って封入を省略してもよい。たとえば図１Ｃに戻ると、ある実施態様は、封入された部分１４及び１６の両方を有するよりも、封入された部分１４又は１６の一つだけを有していてもよい。

【００４１】

ある実施態様においては、一又はそれ以上の群は封入されてもよいが、必ずしもすべての群が放射線不透過材料を含まなくてもよい。たとえば、図１Ｃの実施態様においては、第一の封入された部分１４を、放射線不透過材料を含まない封入材料で成型し、Ｘ線管を、放射線不透過材料を含む封入材料で成型することができる。このようにして、放射線不透過材料は、もっとも必要とされるＸ線放出を遮蔽すべく使用され、それに対して第一の封入された部分は、放射線不透過材料を含めないことによって軽量化される。

【００４２】

次に図２Ａ、２Ｂ、２Ｃ及び２Ｄを参照すると、ここで述べているシステムに従った別の実施態様の異なる観点が示されている。図２Ａ－２Ｄに示されているような代替実施態様においては、ユニット４００は、ウレタン又はシリコンのような半硬質材料に封入され、別体の硬質軽量導電性ハウジング９００内に封じ込められる。

【００４３】

ここで注意をするべきであるが、ある実施態様においては、封入材６００は、所望のＸ線ビーム方向以外の方向においてユニットから放射するＸ線を遮蔽すべく、放射線遮蔽材を含んでいてもよい。

【００４４】

電力消費（バッテリ給電の携帯応用における重要な考慮事項）を低減するためにＰＣＢ７００に含められる回路に関連して高効率の電源及び高確度、高精度制御回路をＸ線管電子ビームの加速に必要な高電圧の生成及び制御に対してまた熱フィラメントからの熱電子放出による電子ビームの生成に対してここで説明する。

【００４５】

以下の段落の中で述べるとおり、高電圧出力は、閉ループ制御下にあり、入力制御信号を介して設定される。特定の応用において望ましいことがあり得る接地陽極構成おいて管の動作を許容すべく負の電圧が使用される。電源は、正の高電圧出力を提供することもでき、この場合には、陰極が接地電位となる。Ｘ線管の電子ビーム電流を生成し制御すべくビーム電流回路を使用してもよい。ビーム電流は、閉ループ制御下においてビーム電流入力制御信号を介して設定された大きさをもっている。ここで述べている実施態様においては、高電圧及びビーム電流入力制御信号の両方はアナログ入力電圧であるが、並列又は直列ディジタルビットストリームを含むディジタル入力を実施態様に含めてもよい。

【００４６】

図２Ｅを参照すると、図１Ａのシステム１０内に含めてもよい素子の実施態様の例示的構成４０００が示されている。構成４０００は、ＰＣＢ７００に物理的に常駐すべき素子の第一の部分及びモジュール４００内に物理的に常駐すべき素子の第二の部分を含む。これらの素子の２つの部分の間における接続は、ケーブル８００によって維持される。ここ

で注意するべきであるが、これは、一つの特定の素子の物理的な分割及びそれらの間の接続である。ほかの実施態様が、ここで述べている素子の異なる物理的分割及び構成を指定することもある。たとえば、一実施態様においては、すべての素子が、別体のＰＣＢ７００ではなく、モジュール４００のケース内にもっぱら常駐することもある。特定の構成が装置の特定の物理的な要求に従って変化してもよい。

【００４７】

この実施態様においては、低電圧制御エレクトロニクスを含むＰＣＢ７００は、高電圧制御ループ１０００及びビーム電流制御ループ２０００を含む。モジュール４００は、高電圧電源１５００並びにフィラメントトランス及びＸ線管２５００を含む。

【００４８】

ＰＣＢ７００に電力を供給すべくバッテリのような電源をＰＣＢ７００に含めてもよい。信号ＫＶ＿ＥＮＡＢＬＥ１３８及び入力制御信号ＫＶ＿ＣＴＲＬ１００は、システム出力信号ＫＶ＿ＭＯＮ１３４として提供する高電圧制御ループ１０００に対する入力である。この出力信号１３４は高電圧出力に比例し、ＫＶ＿ＣＴＲＬ入力信号によって要求される高電圧との比較において実際に達成された高電圧を外部装置が監視することを可能にするべく提供され、それによって障害検出の手段を提供する。また、高電圧制御ループ１０００への入力は、ＫＶ＿ＦＤＢＫ信号１０４及びＫＶ＿ＧＮＤ＿ＳＥＮＳＥ信号１２４である。また、高電圧制御ループ１０００からの出力信号として、高電圧電源１５００に入力される信号ＨＶ＿ＰＲＩ＿Ａ１１０、ＨＶ＿ＰＲＩ＿ＣＴ１４６及びＨＶ＿ＰＲＩ＿Ｂ１１２が生成される。高電圧電源１５００は、信号ＨＶ１０２、ＫＶ＿ＦＤＢＫ１０４及びＫＶ＿ＧＮＤ＿ＳＥＮＳＥ１２４を出力として生成する。

【００４９】

ビーム電流許可制御ループ２０００は、ＢＣ＿ＥＮＡＢＬＥ信号２３２、制御信号ＢＣ＿ＣＴＲＬ２００及びＢＣ＿ＦＤＢＫ信号２０４を入力として有し、出力としてＦＩＬ＿ＤＲＶ信号２２８及びＢＣ＿ＭＯＮ信号２１６を生成し、ＢＣ＿ＭＯＮ信号２１６は、ビーム電流に比例しており、外部装置がＢＣ＿ＣＴＲＬ入力信号によって要求される電流との比較において実際に達成されたビーム電流を監視することを可能にすべく本発明からの出力として提供されて、それによって障害検出の手段を提供する。フィラメントトランス及びＸ線管２５００は、入力信号ＦＩＬ＿ＤＲＶ２２８及びＨＶを有し、出力として信号ＢＣ＿ＦＤＢＫ２０４を生成する。

【００５０】

以下の段落においては、上記の信号、素子及びそれらの動作についてより詳細に説明する。

【００５１】

図３Ａは、高電圧制御ループ１０００及び高電圧電源１５００に含めてもよい素子の実施態様の一例１１００である。１０００内の素子はＰＣＢ７００に含めてもよく、１５００に含まれる素子はモジュール４００内に含めてもよい。ライン１２００は、図１Ａ及び１Ｂの実施態様に示されるとおり、ケーブル８００によって接続される１０００と１５００とにおける素子の間の物理的分離を表している。

【００５２】

図３Ｂは、ビーム電流制御ループ２０００並びにフィラメントトランス及びＸ線管２５００に含めてもよい素子の実施態様の一例２１００である。２０００内の素子はＰＣＢ７００に含めてもよく、２５００に含まれる素子はモジュール４００内に含めてもよい。ライン２２００は、ケーブル８００によって２５００におけるほかの素子に接続される２０００の素子の間における物理的分離を表している。

【００５３】

ここで図３Ａ、４Ａ、４Ｂ及び４Ｃを参照し、高電圧制御ループ１０００及び高電圧電源１５００の実施態様１０００の作動を説明する。図４Ａ、４Ｂ及び４Ｃは、図３Ａに含まれる素子に関するより多くの詳細を提供する。特に、図４Ａは、ＫＶ誤差処理１２８及びＫＶ監視出力フィルタ１３２を含む構成の例である。図４Ｂは、共振コンバータ１２８

を含む構成の例である。図４Ｃは、ＨＶ倍増器ブロック１１８を含む構成の例である。

【００５４】

入力制御信号１００（ＫＶ＿ＣＴＲＬ）は、所望の高電圧出力１０２を設定する。高抵抗分圧器１２２による実際の高電圧出力１０２の測定から引き出された帰還信号１０４（ＫＶ＿ＦＤＢＫ）は、Ｕ１８－３において計測増幅器１３０の正入力に印加される。接地検知信号１２４（ＫＶ＿ＧＮＤ＿ＳＥＮＳＥ）は、Ｕ１８－２においてこの計測増幅器１３０の負入力に印加される。接地検知信号１２４の目的は、高電圧出力の正確な制御を提供するには必要であるところのＵ１８と１２２との間に存在し得る接地降下（グラウンドドロップ）に起因して誘起される何らかの誤差について１０４を修正することにある。

【００５５】

ここで図４Ａを参照すると、Ｕ１８－６における修正されたこの帰還信号１２６は、Ｕ１７Ａを組み込んだ比例－積分－微分（ＰＩＤ）制御機能を含むＫＶ誤差処理ブロック１２８の入力に印加される。このブロック１２８はいくつかの機能を実行する。それは、まず、入力制御信号１００と修正された帰還信号１２６とを比較し、抵抗Ｒ５５及びＲ６０に流れる電流における差に基づく誤差信号を生成する。ビーム電流の高精度制御を達成するために、好ましくは極めて厳密な許容誤差及び優れた温度安定性をもった抵抗を使用してもよい。この実施態様においては、帰還信号１２６の微分がＣ２９及びＲ５３を介して導出される。微分帰還は、過渡応答を改善し、制御ループのオーバーシュートを低減すべく使用されてもよい。

【００５６】

図４Ａの特定の実施態様においては、システムの過渡的振る舞いは、意図された応用又は用途に対して、微分帰還を含ませることを必要とすることなく受け入れ可能であり得る。したがって、ここで述べる微分帰還とともに使用するための特定の素子及び／又は接続は、ここで述べている当該実施態様においては使用されず、むしろ図４Ａには、未定の（ｄｏ－ｎｏｔ－ｐｏｐｕｌａｔｅ：ＤＮＰ）素子値をもって示されている。しかしながら別の実施態様において、微分帰還を使用する実施態様は、これらの素子を使用することもある。回路アーキテクチャにおける素子のための設備は、特定の応用及び実施態様の特定の要求に対する制御ループ応答の調整における最大の柔軟性が考慮されるべく提供されている。誤差の積分は、Ｒ７０及びＣ４５を介して求められる。積分帰還は、要求された入力値１００（ＫＶ＿ＣＴＲＬ）と１０４（ＫＶ＿ＦＤＢＫ）によって示される実際の値との間に生じることのある残留ＤＣオフセット誤差を除去すべく使用される。この誤差の比例積分微分の一定割合の値（ｓｃａｌｅｄ　ｖｅｒｓｉｏｎ）は、誤差信号１０６（ＫＶ＿ＥＲＲＯＲ）を生じさせるべく、Ｕ１７Ａの演算によって求められて結合される。このＰＩＤアーキテクチャは、制御ループの高精度の安定した高速過渡応答の実現を可能にする。異なる実施態様においては、異なる制御ループの応答特性を達成すべく比例積分微分帰還の種々の組み合わせを使用してもよい。

【００５７】

Ｕ１８－６における修正された帰還信号１２６は、ＫＶ監視出力フィルタブロック１３２の入力にも印加される。この実施態様において、このブロック１３２の目的は、出力信号１３４（ＫＶ＿ＭＯＮ）を生成すべく、１２６をフィルタリングし、スケーリングし、そして反転させることにある。出力信号調節のこのほかの形態も可能である。この信号は、高電圧出力に比例しており、ＫＶ＿ＣＴＲＬ入力信号によって要求される高電圧との比較において実際に達成された高電圧を外部装置が監視することを許容すべくシステム１０からの出力として提供され、それによって障害検出の手段を提供する。

【００５８】

次に図４Ｂを参照すると、誤差信号１０６は、共振コンバータ１０８の入力に印加されている。共振コンバータ１０８は、素子Ｕ９、Ｕ１０及びＵ１１を含む。共振コンバータ１０８は、振幅変調された正弦波駆動を高電圧昇圧トランス１３６の一次側入力へ供給するべく機能する。トランス１３６の一次側のインダクタンスは、反射された二次側のインダクタンスとともにキャパシタＣ２及びトランス１３６の反射された二次側のキャパシタ

ンスにより追加されるキャパシタンスと共振する。この共振は、トランスの一次側入力端子１１０及び１１２に印加される正弦波形をもたらす。Ｕ１０－２及びＵ１０－１による共振周波数におけるＵ９－２及びＵ９－４の夫々の交互の切り替えは、振動を持続させる手段を提供する。振動周波数は、１１４によって検出され、Ｕ１０－９における入力として提供される。切り替えは、切り替え遷移の間における最小電力損を達成すべく、正弦波形の零交差の間に生じる。

【００５９】

正弦波の振幅、したがって高電圧出力１０２の大きさは、Ｕ１０－１４におけるパルス幅変調された出力信号１１６の動作によって設定される。この信号がＵ１１－２及びＵ１１－４においてデュアルＦＥＴアレイＵ１１のゲートに印加される。ＦＥＴアレイＵ１１は、１１６に応答して交互に導通する相補型のＮ及びＰチャンネルＦＥＴを含む。切り替えの間の電力消費を最小化し、かつ電源効率を向上させるために、素子Ｒ３３、Ｒ３７、Ｄ８Ａ及びＤ８Ｂは、Ｕ１１－４及びＵ１１－２においてＦＥＴのゲートに印加される信号の遅い立ち上がり端及び速い立ち下がり端を提供するべく組み合わせることによってＦＥＴのＮ及びＰチャンネルの同時導通を防止すべく採用されている。

【００６０】

１１６のデューティサイクルは、誤差信号１０６の大きさによって決定される。このデューティサイクルは、Ｌ１を通る平均電流、したがって１３６の中央タップ（ＨＶ＿ＰＲＩ＿ＣＴ）１４６に印加される電圧の振幅を決定する。一方この中央タップの電圧は、１３６の一次巻き線の共振正弦波電圧の振幅を設定する。この共振コンバータ電力供給は、高電圧許可信号１３８（ＫＶ＿ＥＮＡＢＬＥ）を現出させることによって許可される。

【００６１】

次に図４Ｃを参照すると、トランス１３６の出力が標準のコックロフトーウォルトン（Ｃｏｃｋｒｏｆｔ－Ｗａｌｔｏｎ）構成１１８のダイオードーキャパシタ電圧倍増器の入力に印加されている。倍増器のダイオードは、電気的な接地に対して負の高電圧出力が提供されるように配向されており、それによってＸ線管１２０は陽極接地構成で動作することが可能になる。電気的な接地に対して正の高電圧出力が提供されるようにダイオードが配向される別の実施態様も可能である。陽極接地構成においては、倍増器の高電圧出力が、加速電圧としてＸ線管１２０の陰極に印加される。この高電圧出力は、前述したとおりの高電圧帰還信号１０４を生じさせるべく高抵抗分圧器１２２を介して検知される。高電圧出力の制御は、入力制御信号１００の調整を介して提供される。接地基準信号１２４（ＫＶ＿ＧＮＤ＿ＳＥＮＳＥ）は、低電圧制御エレクトロニクスと高電圧電源との間の相互接続ケーブルのいずれかにおける接地降下に起因する帰還信号１０４に導入される誤差を監視して補償すべく使用される。

【００６２】

ここで注意が必要であるが、共振コンバータ１０８、昇圧トランス１３６及び高電圧倍増器１１８の組み合わせは、Ｘ線管１２０用の加速電圧を生成するために使用される。共振コンバータ及び協働する昇圧トランスは、バックライトインバータ電源産業において、冷陰極蛍光管（ＣＣＦＬ）への意図された電力供給適用に採用される高電力効率のトポロジとして知られている。これらのＣＣＦＬ装置は、たとえばバッテリ動作応用における液晶ディスプレイ（ＬＣＤ）のためのバックライトとして使用される。それらの応用においては、インバータ出力から達成される高電圧は、典型的には、数キロボルトを超えることがなく、１３６のような昇圧トランスからの直接出力によって達成することができる。ここで述べている実施態様においては、共振コンバータ及びトランスの技術は、従来の電源応用の関連において使用されるよりはるかに高い出力電圧を達成すべく、高電圧倍増器１１８と結合されている。ここで使用されているとおり、これらの素子は、たとえば製造者のサポート技術文献に記述されているような意図された応用の要求を超えたはるかに高い出力電圧を生成する応用における組み合わせに使用される。

【００６３】

上記の説明においては共振コンバータ及びトランスは高電圧倍増器連鎖と組み合わせて

使用される。共振コンバータ及びトランスは、典型的には、たとえばＣＣＦＬバックライトインバータに含まれている。前述の構成は、ＣＣＦＬ応用に使用されるよりはるかに高い出力高電圧を生成すべく、共振コンバータ及びトランスを高電圧倍増器連鎖と組み合わせている。それに加えて、このＣＣＦＬバックライトインバータ技術の使用及び特にここで述べたとおりの昇圧トランスの使用は、高電圧電源の全体的なパッケージングの寸法を有意に縮小することを可能にする。Ｘ線管のための高い加速電圧を生成する他の現存するアプローチは、実施態様に求められるぴったりとしたパッケージングをもたらすことができない。上記の構成は、寸法において小さく、高い電力効率を有する高電圧電源の利点を提供する。これらは、たとえば、はるかに大きいＸ線管及びＡＣ幹線電力供給電源を使用することがある現存するＸ線管技術の装置の設計に関連して考慮される典型的な設計要因として特徴付けられ得ない。

【００６４】

次に図３Ｂ、５Ａ、５Ｂ及び５Ｃを参照し、ビーム電流制御ループ２０００及びフィラメントトランス及びＸ線管２５００の実施態様２１００の動作を説明する。図５Ａ、５Ｂ及び５Ｃは、図３Ｂに含まれている素子をより詳細に示している。特に図５Ｂは、ＢＣ誤差処理２１０及びＢＣ監視出力フィルタ２１４を含む回路例である。図５Ｂは、フィラメント駆動２１８並びにチョッパ及びＡＣカップリング２２０を含む回路例である。図５Ｃは、フィラメントトランス及びＸ線管２５００を含む回路例である。

【００６５】

ビーム電流制御ループ２０００の動作において、入力制御信号（ＢＣ＿ＣＴＲＬ）２００は、所望のＸ線管ビーム電流出力を設定する。ビーム電流検知抵抗２０６を介してビーム電流をアースに流すことによって求められた帰還信号電圧２０４（ＢＣ＿ＦＤＢＫ）は、Ｕ４－３において計測増幅器２０６の正入力に印加される。ビーム電流の高精度制御を達成するために、抵抗２０６は、極めて厳密な許容誤差及び優れた温度安定性をもって好ましく特定され得る。この実施態様においては、ビーム電流検出抵抗２０６がＵ４と物理的に近接して配置される。その結果、接地検知及び修正が採用されていなく、２０６の下端における接地レベルと、Ｕ４－２における接地基準点との間に有意な差を生じない。別の実施態様においては、ビーム電流検知抵抗２０６をＵ４からいくらかの距離を置いて、可能性としては高電圧電源又はＸ線管の近傍に配置してもよい。これらの実施態様においては、高電圧回路１１００に採用し得るような接地検知及び誤差修正に類似したアプローチの採用が望ましいこともある。特にＵ４－２をその部位での接地ではなくて２０６の接地端に直接的に接続してもよい。

【００６６】

Ｕ４－６からの出力の調整された帰還信号２０８は、比例積分微分（ＰＩＤ）制御機能を組み込んだＵ５Ａを含むＢＣ誤差処理ブロック２１０の入力に印加される。このブロックは、いくつかの機能を実行する。まず、入力制御信号２００と調整後の帰還信号２０８とを比較し、抵抗Ｒ９及びＲ１０を流れる電流における差に基づく誤差信号を生成する。ビーム電流の高精度制御を達成するために、極めて厳密な許容誤差及び優れた温度安定性をもった抵抗が使用される。この誤差の比例積分微分の一定割合の値（ｓｃａｌｅｄ　ｖｅｒｓｉｏｎ）は、誤差信号２１２（ＢＣ＿ＥＲＲＯＲ）を生成すべくＵ５Ａの演算によって求められて結合される。このＰＩＤアーキテクチャは、制御ループの高精度の安定した高速過渡応答の実現を可能にする。異なる実施態様においては、異なる制御ループの応答特性を達成すべく比例積分微分帰還の種々の組み合わせを使用してもよい。

【００６７】

Ｕ４－６におけるこの調整された帰還信号２０８は、ＢＣ監視出力フィルタブロック２１４の入力にも印加される。本発明のこの実施態様においては、このブロックの目的は、出力信号２１６（ＢＣ＿ＭＯＮ）を生成すべく、２０８をフィルタリングし、スケーリングし、そして反転することにある。出力信号調節のこのほかの形態も可能である。信号２１６は、ビーム電流に比例しており、ＢＣ＿ＣＴＲＬ入力信号によって要求される電流との比較において実際に達成されたビーム電流を外部装置が監視することを許容すべく本発

明からの出力として提供され、それによって障害検出の手段が提供される。

【００６８】

次に図５Ｂを参照すると、この実施態様においては、誤差信号２１２（ＢＣ＿ＥＲＲＯＲ）は、フィラメントに対してヒータ電流を提供するフィラメント制御電源２１８の入力に印加されている。ほかの実施態様においては、この誤差信号は、フィラメント温度に対するビーム電流生成の略４乗依存を補償すべく誤差信号の４乗根をとる線形化段に最初に印加されてもよい。別の実施態様においては、この誤差信号のこのほかの修正又はスケーリングも可能である。

【００６９】

フィラメント制御電源２１８は、スイッチング調整器Ｕ１並びに出力電圧検知抵抗回路網Ｒ３４及びＲ３２からなる可調ブースト調整器を含む。この回路網は、ＤＣ出力電圧２２２を固定された公称値に維持すべく作用する。ブースト調整器の調節は、この回路網の中央ノードに対するＲ３５を介した誤差信号２１２の印加によって達成される。このようにして、Ｕ５Ａの動作によるＲ３５を介して流れ込む又は流れ出す電流は、Ｕ１に出力電圧２２２の調整を行わせて補償する。この電力供給は、ビーム電流許可信号２３２（ＢＣ＿ＥＮＡＢＬＥ）の現出によって許可される。

【００７０】

ＤＣ出力信号２２２は、この可調ＤＣ信号をＡＣ波形に変換するチョッパ及びＡＣカップリングブロック２２０の入力に印加される。チョッパは、Ｕ１６、Ｕ１５及びＵ７を含む。Ｕ１６は、Ｕ１５、すなわちＭＯＳＦＥＴドライバに印加される公称値５０％のデューティサイクルの方形波出力２２４を生成する固定周波数発振器である。出力Ｕ１５－６及びＵ１５－７は、相補型のＮ及びＰチャンネルＦＥＴを含むデュアルＦＥＴアレイＵ７のゲートを制御する。これらのＦＥＴは交互に導通し、それによってＵ７－３においてＤＣ入力電圧２２２をチョップして、チョップされたＤＣ出力２２６をＵ７－５、６、７、８で提供する。切り替えの間の電力消費を最小化し、かつ電源効率を向上させるために、素子Ｒ１１、Ｒ１３、Ｄ６Ａ及びＤ６Ｂは、Ｕ７－４及びＵ７－２においてＦＥＴのゲートに印加される信号の遅い立ち上がり端及び速い立ち下がり端を提供するべく組み合わせることによってＦＥＴのＮ及びＰチャンネルの同時導通を防止すべく採用されている。

【００７１】

チョップされたＤＣ信号２２６は、ＤＣ成分を除去すると共に、図５Ｃに示されているように、フィラメント駆動絶縁トランス２３０の一次側を駆動するために使用される信号２２８（ＦＩＬ＿ＤＲＶ）としてのＡＣ波形を生成すべく、ＡＣカップリングキャパシタＣ３に印加されている。このトランス２３０の二次側は、Ｘ線管１２０内の陰極端でのフィラメントに接続されている。このトランスの二次側と高電圧電源１０２からの出力との間の接続は、フィラメントを加速電位に上げるべく設けられている。動作中の電圧絶縁破壊を防止すべく、２３０の一次巻き線と二次巻き線との間に高度の電圧絶縁が提供されている。

【００７２】

ビーム電流は、入力制御電圧２００（ＢＣ＿ＣＴＲＬ）を０ボルトから上昇させることによって生成される。これは、フィラメント電源２２２の出力電圧を最小値から、フィラメントを適切に加熱して熱電子放出を生じさせるに充分な値まで上昇させる効果を有する。２２２の最小出力電圧は、放出を開始する適切な温度にフィラメントが到達することを防止すべく設定されるが、この２２２の最小出力電圧は、フィラメントをウォームアップすべく、フィラメントの温度を中間値まで上昇させるに充分である。このようにして、短いフィラメントターンーオン応答時間は、ビーム電流が要求される際に冷状態からのフィラメントの加熱に関連する時間を回避することによって達成される。

【００７３】

次に図５Ｄを参照すると、ビーム電流検知を行うべく実施態様に含ませることのできる構成４０００の一例が示されている。ビーム電流帰還信号２０４（ＢＣ＿ＦＤＢＫ）は、以下のように求められる。ビーム電流は、高電圧倍増器連鎖１１８を通ってＸ線管１２０

のフィラメントに流れ、フィラメントにおいて当該ビーム電流は、絶縁トランス２３０からのフィラメントヒータ電流と合成される。加熱されたフィラメントから熱電子放出される電子は、Ｘ線管の陰極（フィラメント）からその陽極（ターゲット及び窓）へ流れるビーム電流を構成する。高精度ビーム電流検知抵抗２０６は陽極をアースに接続する。電流は、抵抗２０６を通って流れ、接地戻り路１４２を経由して高電圧倍増器連鎖１１８に戻り、回路を完成する。ビーム電流帰還信号電圧２０４（ＢＣ＿ＦＤＢＫ）は、ビーム電流検知抵抗２０６の陽極端での電圧を検知することによって生成される。わずか数ミリボルトの信号が生成されれば充分であり、したがってＸ線管の陽極は、基本的に接地電位に維持される。

【００７４】

ここで注意する必要があるが、以前にこの中で述べたとおり、図５Ｄは、種々の素子、たとえば図３Ａ及び３Ｂからの素子及びそれらの間の接続を含んでいる。図５Ｄに含められている特定の個々の素子は、ビーム電流帰還信号２０４（ＢＣ＿ＦＤＢＫ）の動作及び生成を例示し、説明する目的で選択されている。

【００７５】

実施態様にビーム電流帰還信号２０４（ＢＣ＿ＦＤＢＫ）の生成に関する別の変形を含めてもよい。図５Ｄは、ビーム電流検知抵抗２０６を通って接地へ流れる電子ビーム電流に基づいてＸ線管の陽極においてビーム電流検知が行われる構成を例示している。次に、ビーム電流帰還信号２０４（ＢＣ＿ＦＤＢＫ）の生成と関連して使用できる別の代替構成について説明するが、これは図５Ｄの構成とは対照的に、高電圧倍増器１１８の接地に基づいてビーム電流検知を行う。

【００７６】

図５Ｅを参照すると、ビーム電流検知を行う実施態様に含めてもよい構成４００２の一例が示されている。この構成４００２においては、Ｘ線管１２０の陽極は、高電圧倍増器への戻り電流として検知されるビーム電流をもって直接アースに接続され得る。ビーム電流検知抵抗２０６は、高電圧倍増器連鎖１１８の接地接続と直列に配置される。Ｘ線管１２０の陽極から流れて接地戻り路を介して戻り電流として高電圧倍増器連鎖１１８に戻るビーム電流は、ビーム電流帰還電圧としてその後使用される電圧をビーム電流検知抵抗２０６に発生させる。

【００７７】

構成４０００においては、高電圧検知抵抗分圧器１２２は、（図５Ｅのように）アースに直接的に接続されるのではなく、図示のように２０６の上端に接続されており、すべての戻りビーム電流を２０６を介して流させている。このようにすれば、ビーム電流の正確な測定がなされ得る。２０４（ＢＣ＿ＦＤＢＫ）の極性は、図５Ｅの構成からもたらされる電圧の極性から反転される。したがって、図５Ｅの構成４００２を使用するときは、適正な動作のためにＵ４－２及びＵ４－３（図５Ａ）の入力における接続が逆転される。高電圧の正確な測定のため、高電圧分圧器１２２の基底部分の差電圧が測定される。これは、計測増幅器１３０において、計測増幅器１３０（図４Ａ）のピンＵ１８－２を直接２０４（ＢＣ＿ＦＤＢＫ）に接続し、それによって１２４（ＫＶ＿ＧＮＤ＿ＳＥＮＳＥ）への接続を断にすることにより行うことができる。このようにして、修正された帰還信号１２６をＵ１８－６で発生させるべく、２０６の電圧降下は、１０４（ＫＶ＿ＦＤＢＫ）から差し引かれる。

【００７８】

ある実施態様は、ＤＣ源入力電圧を固定してもよい。ここで述べているように、電源の一部としてバッテリを使用してもよい。しかしながら、ある実施態様では別の電源、たとえば壁プラグ又はアウトレットに差し込まれるＤＣ源を使用する電源を含めてもよい。

【００７９】

高電圧制御ループ及び電源１０００の共振コンバータブロック１０８は、可変出力を達成すべく入力電圧のパルス幅変調に基づいている。この可変出力は、制御ループの動作とともに可変高電圧出力を達成すべく、昇圧トランスを介して電圧倍増器連鎖に印加される

。特定のバッテリ給電応用においては、共振コンバータ１０８に対する入力電圧をバッテリから直接的に得てもよい。しかしながら、バッテリ出力電圧は、典型的には、調整が行われてなく、バッテリの消耗とともに低下する。共振コンバータ１０８に供給される電圧の調整には種々の電圧調整を利用できる。一例の調整回路が、ｗｗｗ．ｌｉｎｅａｒｔｅｃｈ．ｃｏｍ／ｐｄｆ／１７７２ｆｓ．ｐｄｆにおいてリニアテクノロジ（Ｌｉｎｅａｒ Ｔｅｃｈｎｏｌｏｇｙ）から入手することのできる「コンスタントフリクェンシーカレントモード・ステップ－ダウンＤＣ／ＤＣコントローラインＳＯＴ－２３（Ｃｏｎｓｔａｎｔ Ｆｒｅｑｕｅｎｃｙ Ｃｕｒｒｅｎｔ Ｍｏｄｅ Ｓｔｅｐ－Ｄｏｗｎ ＤＣ／ＤＣ Ｃｏｎｔｒｏｌｌｅｒ ｉｎ ＳＯＴ－２３）」と題されたテクニカルノートＬＴＣ １７７２（ｔｅｃｈｎｉｃａｌ ｎｏｔｅ ＬＴＣ １７７２）の中に述べられている。

【００８０】

このほかの、ブースト及びバック－ブーストのような電圧調整器のアーキテクチャも、特定の応用の要件に基づいて採用することができる。重要なことは、バッテリの入力電圧の変動とは独立の固定した出力電圧を調整器が維持するということであり、採用されている特定の調整器のアーキテクチャとは関わりがない。

【００８１】

ここで注意が必要であるが、上記の低電圧制御エレクトロニクスは、可変ＤＣ源入力電圧によって給電されてもよい。その変動は、可変源入力とは無関係に実施態様に従ったあらかじめ決定された電圧を供給すべく、特定の範囲内としてもよい。一実施態様においては、システムは、＋４ボルトから＋１０ボルトの範囲内で動作することができるが、別の実施態様はほかの範囲を使用することもある。

【００８２】

以上の説明は、Ｘ線源、高電圧電源及び高精度制御エレクトロニクスを含めてもよいと共に、広範各種の応用に使用される現場携帯Ｘ線機器に使用するための複雑な形状寸法に構成され得る低電力、高効率の電気的に遮蔽され、かつ放射線遮蔽されたＸ線モジュールを提供する。空間が制限されている装置応用において、このコンパクトなＸ線モジュールを使用することができる。軽量のＸ線モジュールは、たとえば持ち運び型携帯機器内に含めることができる。このＸ線モジュールは、出力の調整が行われない小型の低電圧バッテリから給電され、低電力応用のために高い電力効率の利点を提供してもよい。ここで述べた放射線遮蔽付きＸ線モジュールにおいては、放射線遮蔽の重量は、持ち運び型機器における使用の要求に従って最小化される。

【００８３】

前述の説明は、コンパクトなＸ線ユニットのための電力効率の高い制御回路も提供する。このＸ線モジュールは、高度の正確性、精度及び安定性に対してＸ線出力を制御することができる。前述したＸ線モジュールは、異なるサプライヤからのＸ線管と相互接続することのできる柔軟性及び適合性の高い内部アーキテクチャを含む。ここで説明したＸ線モジュールは、硬質の自立構造型の電気的絶縁材内に封入された小型の低電力Ｘ線管及び高電圧電源を含むことができる。封入材は、露出させたままに残すＸ線管のＸ線出力窓を除いて、Ｘ線管、高電圧電源及び制御エレクトロニクスの全部又は任意部分を取り囲むことができる。硬質の封入材の外側表面に被着させた導電性材料の薄層は、モジュールからの電界を遮蔽すべく接地された導電表面を提供する。外部の接地されたハウジングの必要性を排除することによって、ここで述べているＸ線モジュールは、寸法を最小化し得る。それに加えて、Ｘ線モジュールの機械的剛性を硬質の封入材によって提供してもよく、その結果、広範複雑な形状寸法のモジュールを容易かつ経済的に構成してもよい。

【００８４】

ここで述べている電気的絶縁封入材は、導電性又は非導電性であってもよい放射線不透過材料であって、ユニットからのＸ線の放出を遮蔽する放射線不透過材料を含めてもよい。またここで注意する必要があるが、封入材に含められる放射線不透過材料の組み合わせが、その封入材の絶縁耐力に概略で近い高い絶縁耐力を有することが好ましい。放射線不

透過材料を電気的絶縁封入材に組み込むことによって、放射線不透過材料をＸ線管の近傍に近づけ、それによって最小の追加重量で最大の遮蔽を提供する。ここで述べているとおり、組み合わされた放射線不透過材料と封入材料との配合は、封入材の高い絶縁耐力を残すように選択することができる。したがって、放射線不透過封入材をＸ線管のすべての部分に密着させることが可能になり、さらに遮蔽効果を最大化することが可能になる。それに加えて、封入材の高い絶縁耐力を残すことによって、高電圧絶縁の厚さ及び全体的なモジュールの寸法が実質的に無変更のままとなる。

【００８５】

前述の説明は、高電圧モジュールの高電圧電源に効率的な電力の引き渡しを提供する。最良可能電圧調整を得るためには、高電圧ＤＣ電源を最高可能周波数において駆動すると好ましいことがある。充分に高い周波数においては、高電圧電源の接地に対する浮遊キャパシタンスが支配的な負荷となる。非常にコンパクトなモジュール寸法の利点を達成するために、前述したものは、接地面を提供すべく導電性材料によって被覆されている最小可能な厚さの高い絶縁耐力材によって取り囲まれたモジュールを含んでいる。前述したものの設計は、接地面が高電圧電源の素子からより離れた平均距離に配置される設計に対して、高電圧電源の接地に対する浮遊キャパシタンスにおける増加を含む。最高可能電力効率を提供するために、この高電圧電源は、共振コンバータ回路によって駆動されてもよい。ここで認識されることになろうが、低電圧制御回路の共振コンバータ及び封入された高電圧モジュールの小さな寸法は、現場携帯バッテリ動作Ｘ線機器における使用のための最大限にコンパクトな電力効率の高いＸ線源を提供すべく、前述した構成においてともに作用する。

【００８６】

前述したものはまた、高電圧及びビーム電流出力調整を提供するべく共振コンバータ回路及びフィラメント制御回路において振幅変調技術を使用している。これらの技術の使用は、電力効率の高い設計の利点も提供する。

【００８７】

また前述したものは、バッテリ電源から得られるような入力電圧の広い範囲にわたって動作すべく設計された制御エレクトロニクスも提供する。これは、バッテリ電圧が回路に直接印加され得るバッテリ動作機器のための重要な考慮として特徴付けられてもよい。バッテリからの直接的な動作によって、この回路は、バッテリ電圧の予調整を必要としなくなり、それによって回路の複雑性が抑えられ、よりコンパクトな設計が可能になり、さらにはこの予調整段と関連する電力の損失が回避され、より電力効率の高い設計がもたらされる。

【００８８】

前述したものの追加の態様は、エレクトロニクス設計アーキテクチャが柔軟な構成を提供することであり、それによって低電圧制御回路をＸ線管及び高電圧電源アセンブリに直接的に結合し、オプションとしてそれらとともに封入し又は別体で封入されるＸ線管及び高電圧電源アセンブリを薄い柔軟な低電圧相互接続ケーブルを介して結合することが可能になる。このパッケージングの柔軟性は、利用可能空間及びパッケージングの要求によって指定される非常に多様な空間的形状寸法の構成を見込んでいる。

【００８９】

ここでより詳細に示した態様は、異なる商業的売主からのＸ線管の使用を可能にするエレクトロニクス設計における柔軟性という利点を提供する。制御システムアーキテクチャは、一つの設計の実施が仕様の規定された範囲内において異なるＸ線管とともに使用できるといったものになる。

【００９０】

ここで述べた技術の使用は、自蔵式の非常に小型の軽量で電力効率の高いＸ線源モジュールを提供し、検査及び分析に使用される持ち運び型であって、バッテリ動作の携帯機器に特に適する。ここで述べた技術を採用する機器の一つの用途は、Ｘ線蛍光分光分析法に基づいた材料分析機器であり、それにおいてここで述べた技術を採用する機器は、Ｘ線源

として広く使用されている放射性アイソトープに代わってもよい。さらに、ここで述べた技術の使用は、単一の電気的に遮蔽され、かつ放射線遮蔽された、軽量コンパクトであり、持ち運び型Ｘ線機器において動作されるに充分に安全なユニットにおけるＸ線管及び関連高電圧エレクトロニクスの一体化を可能にする。さらにまた、電力効率の高い制御エレクトロニクスは、ユニットを標準的な低電力バッテリから動作させ得るように使用され得る。またここで述べたとおり、前述の技術は、特定の機器の空間的要求に従って複雑な形状寸法で構成された装置内において採用され得る。

【００９１】

以上、本発明を種々の実施態様に関連して説明してきたが、当業者にはそれらに対する修正が容易に明らかになるであろう。したがって、本発明の精神及び範囲を付随する特許請求の範囲に示す。

【図面の簡単な説明】

【００９２】

【図１Ａ】モジュラＸ線源を含むシステムの実施態様の一例であり、Ｘ線管及び高電圧エレクトロニクスを含む封入された高電圧ユニット縦方向断面及び電気ケーブルを介してモジュラユニットに接続される低電圧電力及び制御回路を示した説明図である。

【図１Ｂ】ここで説明しているシステムによる図１Ａの実施態様の側面図である。

【図１Ｃ】モジュラＸ線源を含むシステムの別の実施態様の例を示した説明図である。

【図２Ａ－２Ｄ】ここで説明しているシステムによる別の実施態様を示した種々の斜視図である。

【図２Ｅ】ここで説明しているシステムによる素子構成の実施態様の一例を示した説明図である。

【図３Ａ】ここで説明しているシステムによる高電圧制御ループ及び電源の実施態様を例示したブロック図である。

【図３Ｂ】ここで説明しているシステムによるビーム電流制御ループ及びフィラメントトランス並びにＸ線管の実施態様を例示したブロック図である。

【図４Ａ】ここで説明しているシステムによるＫＶ誤差処理及びＫＶ監視出力フィルタブロックの実施態様を例示した回路図である。

【図４Ｂ】ここで説明しているシステムによる共振コンバータの実施態様を例示した回路図である。

【図４Ｃ】ここで説明しているシステムによるＨＶ倍増器ブロックの実施態様を例示した回路図である。

【図５Ａ】ここで説明しているシステムによるＢＣ誤差処理及びＢＣ監視出力フィルタブロックの実施態様を例示した回路図である。

【図５Ｂ】ここで説明しているシステムによるフィラメント制御ブロックの実施態様を例示した回路図である。

【図５Ｃ】ここで説明しているシステムによるフィラメント制御逓降絶縁トランス及びＸ線管の実施態様を例示した回路図である。

【図５Ｄ】ビーム電流検出に使用される素子の実施態様を例示した回路図である。

【図５Ｅ】ビーム電流検出に使用される素子の別の実施態様を例示した回路図である。

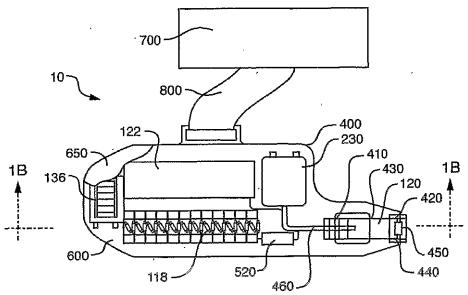


FIG. 1A

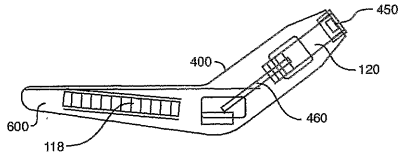


FIG. 1B

【図１Ｃ】

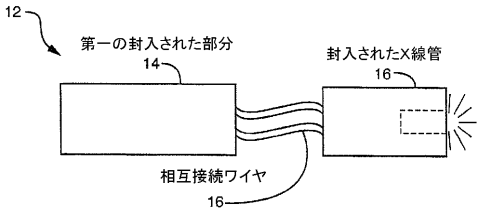


FIG. 1C

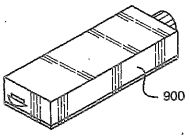


FIG. 2A

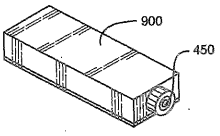


FIG. 2B

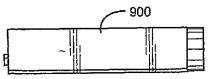


FIG. 2C

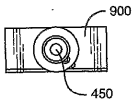


FIG. 2D

【図２Ｅ】

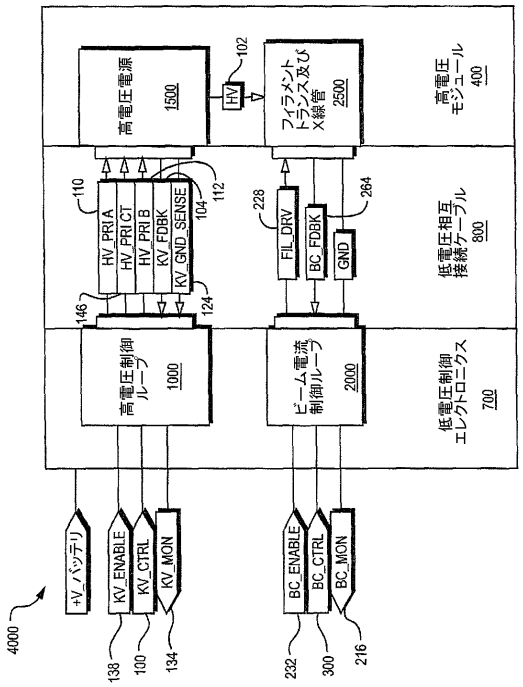


FIG. 2E

【図３Ａ】

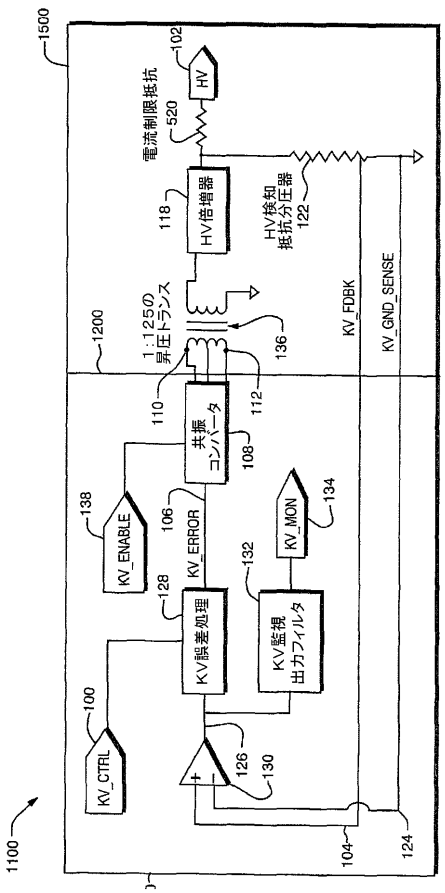


FIG. 3A

【図３Ｂ】

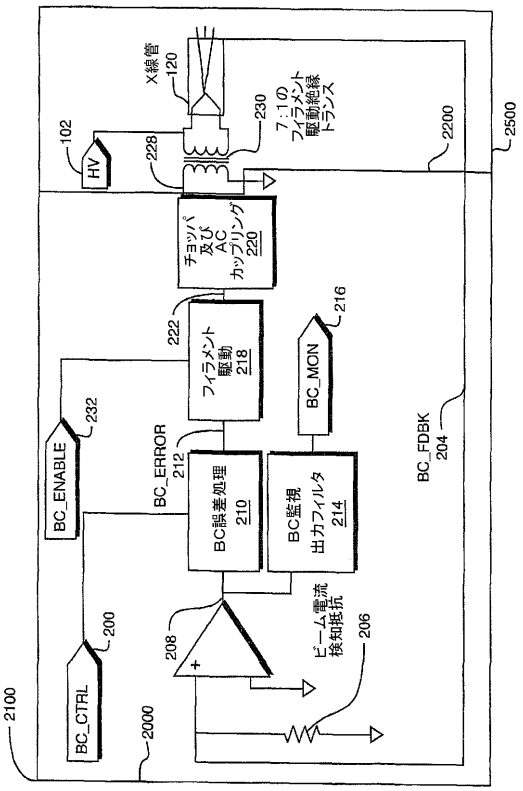


FIG. 3B

【図４Ａ】

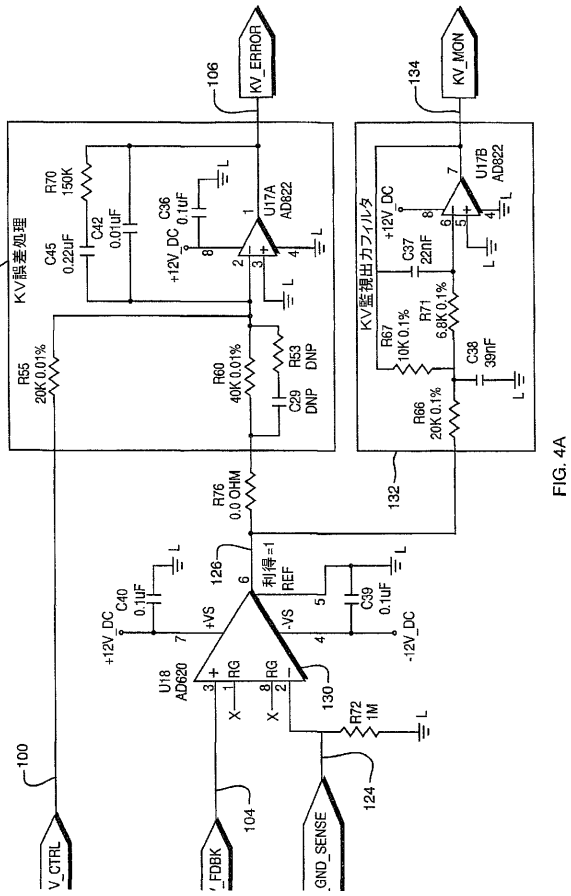
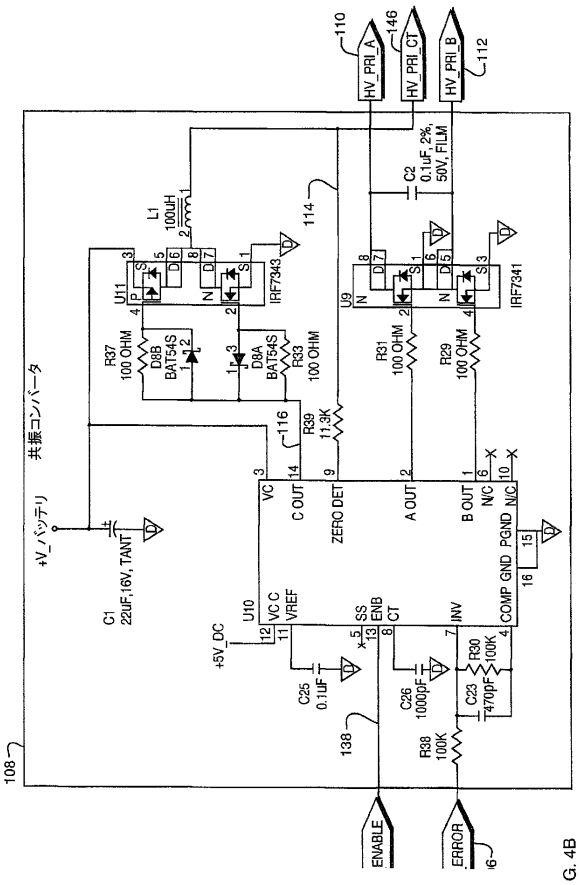


FIG. 4A

【図４Ｂ】



G. 4B

【図４Ｃ】

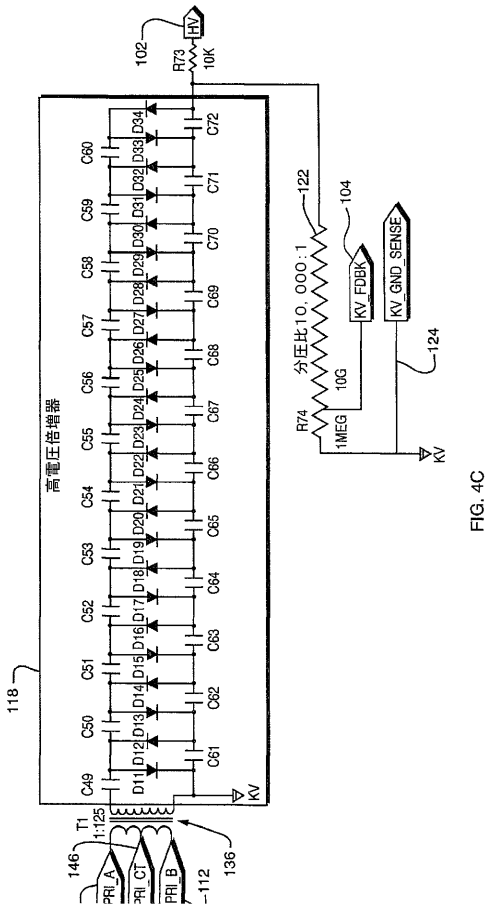


FIG. 4C

【図５Ａ】

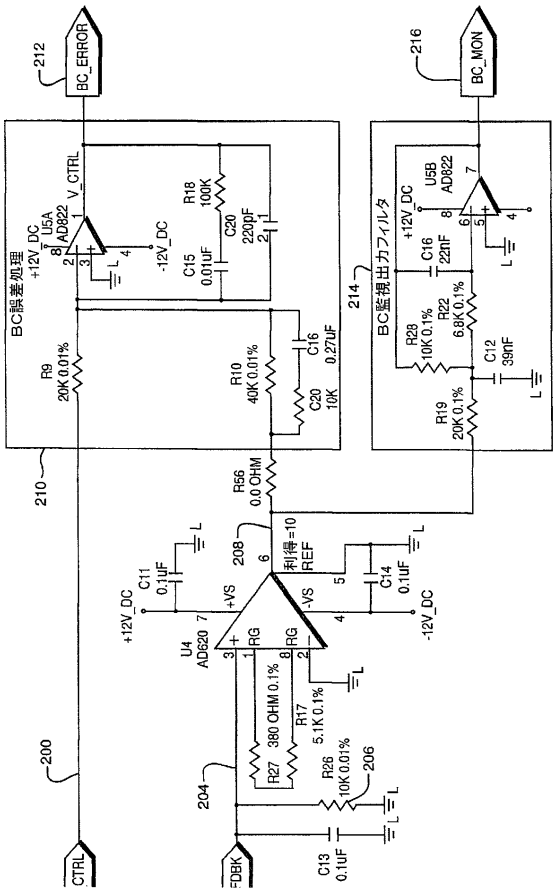


FIG. 5A

【図５Ｂ】

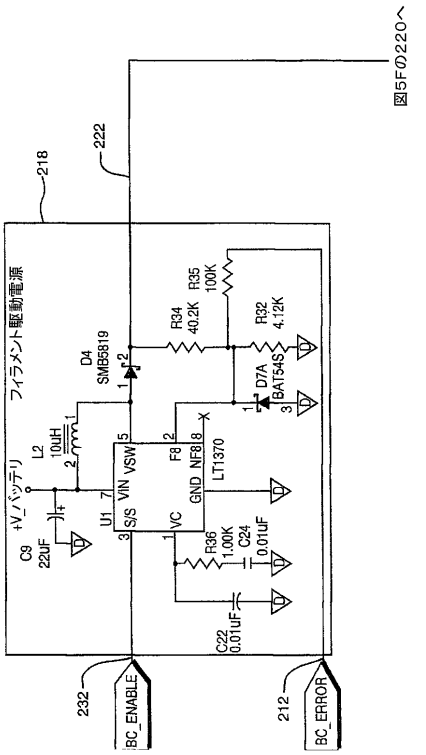


FIG. 5B

【図５Ｃ】

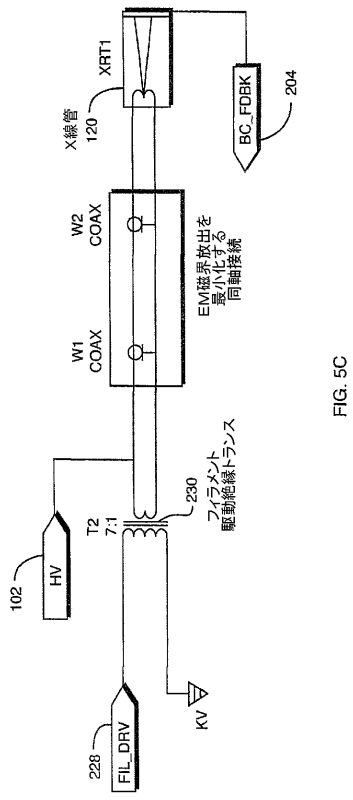


FIG. 5C

【図５Ｄ】

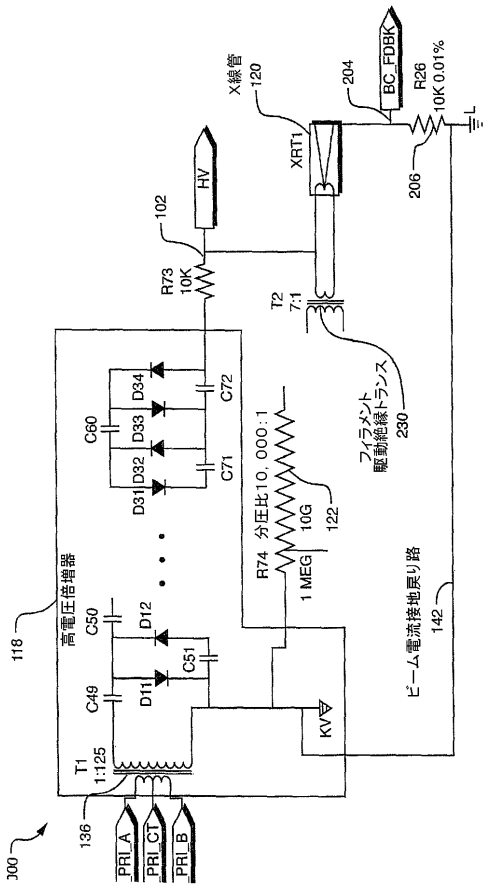


FIG. 5D

【図５Ｅ】

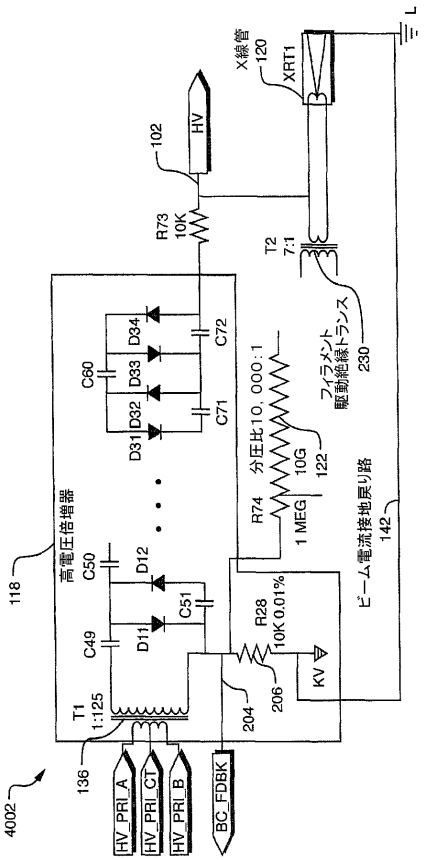


FIG. 5E

【図５Ｆ】

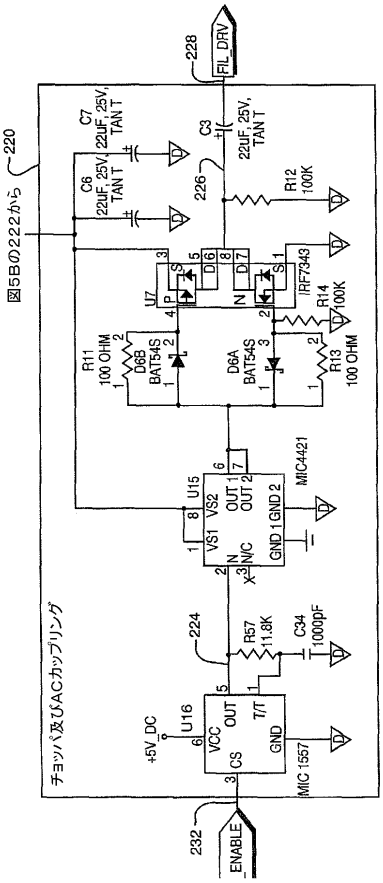


FIG. 5F

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/US04/05190

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC(7) : H05G 1/10
US CL : 378/101,102,109,111,203
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
U.S. : 378/101,102,109,111,203

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 4,796,286 A (OCHMANN et al) 03 January 1989 (03.01.1989), column 2, lines 59-60.	2, 3, 12-20, 32, 42-50, 52, 63-94, 104, 105, and 108
A	US 4,768,215 A (KIWAKI et al) 30 August 1988 (30.08.1988), Abstract, column 2, lines 35-66, and column 3, lines 49-55.	1-41, 51-72, 74-85, 95-103, and 106-117
A	US 6,487,273 B1 (TAKENAKA et al) 26 November 2002 (26.11.2002), Abstract, column 6, lines 5-43, column 10, lines 15-23, and column 13, line 23 -- column 14, line 32.	1-41, 51-72, 74-85, 95-103, and 106-117

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
25 July 2004 (25.07.2004)

Date of mailing of the international search report
13 OCT 2004

Name and mailing address of the ISA/US
Mail Stop PCT, Attn: ISA/US
Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, Virginia 22313-1450
Facsimile No. (703) 305-3230

Authorized officer
Chih-Cheng Glen Kao
Telephone No. (571) 272-2800

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 1998)

フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW,GH,GM,KE,LS,MW,MZ,SD,SL,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,MD,RU,TJ,TM),EP(AT,BE,BG,CH,CY,CZ,DE,DK,EE,ES,FI,FR,GB,GR,HU,IE,IT,LU,MC,NL,PT,RO,SE,SI,SK,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GQ,GW,ML,MR,NE,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BR,BW,BY,BZ,CA,CH,CN,CO,CR,CU,CZ,DE,DK,DM,DZ,EC,EE,EG,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,HR,HU,ID,IL,IN,IS,JP,KE,KG,KP,KR,KZ,LC,LK,LR,LS,LT,LU,LV,MA,MD,MG,MK,MN,MW,MX,MZ,NA,NI,NO,NZ,OM,PG,PH,PL,PT,RO,RU,SC,SD,SE,SG,SK,SL,SY,TJ,TM,TN,TR,TT,TZ,UA,UG,US,UZ,VC,VN,YU,ZA,ZM,ZW

(72)発明者 エッティンガー，ピーター，イー.
アメリカ合衆国 マサチューセッツ州 アクトン フロックス レーン ４
(72)発明者 シェファー，ルース，イー.
アメリカ合衆国 マサチューセッツ州 ニュートン ベートーベン アベニュー ２１８
(72)発明者 クリンコフスタイン，ロバート，イー.
アメリカ合衆国 マサチューセッツ州 ウィンチェスター レッド コーチ レーン ７

Ｆターム(参考) 4C092 AA01 AB27 AB30 AC08 BB06 BB40 CC03 CD03 CE12