

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4708022号
(P4708022)

(45) 発行日 平成23年6月22日 (2011.6.22)

(24) 登録日 平成23年3月25日 (2011.3.25)

(51) Int. Cl.			F I		
G 2 1 B	1/00	(2006.01)	G 2 1 B	1/00	Z
G 2 1 G	1/10	(2006.01)	G 2 1 G	1/10	
H 0 5 H	1/00	(2006.01)	H 0 5 H	1/00	Z
H 0 5 H	6/00	(2006.01)	H 0 5 H	6/00	
G 2 1 F	9/00	(2006.01)	G 2 1 F	9/00	N

請求項の数 15 (全 24 頁)

(21) 出願番号	特願2004-529011 (P2004-529011)	(73) 特許権者	504466580
(86) (22) 出願日	平成15年5月19日 (2003.5.19)		プロトン21 カンパニー リミテッド
(65) 公表番号	特表2005-530184 (P2005-530184A)		LTD COMPANY " PROTON
(43) 公表日	平成17年10月6日 (2005.10.6)		-21"
(86) 国際出願番号	PCT/UA2003/000015		ウクライナ 08132 オプラス キエ
(87) 国際公開番号	W02004/017685		フスカヤ, キエフスフヤトシンスキー,
(87) 国際公開日	平成16年2月26日 (2004.2.26)		ヴィシュネボイエ, チェルノボラ ストリ
審査請求日	平成16年12月20日 (2004.12.20)		ート, 48-エー
(31) 優先権主張番号	2002086722	(73) 特許権者	305029704
(32) 優先日	平成14年8月14日 (2002.8.14)		アダメンコ, スタニスラフ ワシレヴィッ
(33) 優先権主張国	ウクライナ (UA)		チ
			ADAMENKO, Stanislav
			Vasilyevich
			ウクライナ 03124 キエフ, 19-
			39, ワシレンコ ユーエル
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 衝撃によって物質を圧縮するための方法および装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

導電性壁面と軸対称プラズマ・カソードと軸対称アノードとを備えた軸対称の真空チャンバを有する、相対性理論が適用可能な程度の速度にまで加速可能な真空2極管を使用して衝撃で物質を圧縮する方法において、

前記アノードの少なくとも一部分として機能する、凝縮された物質からなる軸対称部品の形をしたターゲットを製造するステップと、

前記アノードを、前記真空2極管チャンバ内の、前記プラズマ・カソードと実質的に同じ幾何軸上に、そのプラズマ・カソードに向かって軸方向の間隙を設けて配置するステップと、

前記アノードの表面に対して、電子ビームが自己収束する形で、電源から前記真空2極管を介してパルス放電させるステップとを含む方法であって、

前記軸対称プラズマ・カソードが、導電ロッドと放出面積が前記プラズマ・カソードの対称軸に垂直な面における前記導電ロッドの最大断面積より大きい誘電体エンド・エレメントとを一体的に組み立てた形で使用され、

前記アノードが、その作用表面の曲率中心が集散的に自己収束する電子ビームの焦点空間内部に位置するところに、前記プラズマ・カソードの前記誘電体エンド・エレメントに向かって軸方向の間隙を設けて配置され、

前記アノードが、電子エネルギー 0.2 MeV 以上、電流密度 10^6 A/cm^2 以上、持続時間 100 ns 以下を有する電子ビームから作用を受けることを特徴とする方法。

10

20

【請求項 2】

前記プラズマ・カソードで、先の尖った導電ロッドが使用され、前記カソードの前記誘電体エンド・エレメントが、前記ロッドに固定されるための開口を備え、その開口が、前記ロッドの尖った端部で固定されるように配置されることを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記ターゲットが、前記アノードの中心部分へ挿入可能な形状の挿入体として形成され、前記挿入体の直径が、前記アノードの対称軸に垂直な面における前記アノードの最大断面寸法 (d_{max}) の $0.05 \sim 0.2$ 倍の範囲で選択されることを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

10

【請求項 4】

前記アノードの少なくとも前記プラズマ・カソードの方を向いている部分が、前記真空 2 極管への取付け前に、回転楕円体の形状に形成されることを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 5】

前記ターゲットが、前記アノードの内部に密着して固定される回転楕円体の形状に形成され、前記ターゲットが形成する内側の回転楕円体と前記アノードが形成する外側の回転楕円体の中心が実質的に一致することを特徴とする請求項 4 に記載の方法。

【請求項 6】

前記アノードが、電子エネルギー最大 1.5 MeV 、電流密度 10^8 A/cm^2 以下、持続時間 50 ns 以下の電子ビームから作用を受けることを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

20

【請求項 7】

電子ビームの電流密度が、 10^7 A/cm^2 以下であることを特徴とする請求項 6 に記載の方法。

【請求項 8】

前記真空 2 極管の真空チャンバ内の圧力が、 0.1 Pa 以下のレベルに維持される、ことを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 9】

相対性理論が適用可能な程度の速度にまで加速可能な真空 2 極管を基にした、物質を爆縮するための装置において、

30

一部分が導電材料でできた軸対称真空チャンバとしての形をした頑丈な気密ハウジングと、

前記真空チャンバ内に軸方向の間隙を設けて取り付けられ、実質的に同じ幾何軸上にある軸対称プラズマ・カソードおよび軸対称アノードとを備え、少なくとも前記カソードがパルス高電圧電源に接続される装置であって、

前記軸対称プラズマ・カソードが、導電ロッドと放出面積が前記プラズマ・カソードの対称軸に垂直な面における前記導電ロッドの最大断面積より大きい誘電体エンド・エレメントとを一体的に組み立てた形で使用され、

前記真空 2 極管の電極のうち少なくとも一方が、その両電極間の軸方向の間隙を調節する手段を備え、

40

前記プラズマ・カソードおよび前記アノードの共通幾何軸から、前記真空チャンバの導電壁の内側側面までの距離が、 $50 d_{max}$ よりも大きい (d_{max} は前記アノードの対称軸に垂直な面における前記アノードの最大断面寸法) ことを特徴とする装置。

【請求項 10】

前記プラズマ・カソードの導電ロッドの端部が尖っており、前記誘電体エンド・エレメントが、前記ロッドに固定されるための開口を備え、その開口が、前記ロッドの尖った端部で固定されるように配置されることを特徴とする請求項 9 に記載の装置。

【請求項 11】

前記アノードが、円形の断面形状を有し、その主要部分が導電性の材料から全体が製造

50

されることを特徴とする請求項 9 に記載の装置。

【請求項 1 2】

前記アノードが複合化され、少なくとも 1 層の固体殻と、その殻に密着して取り囲まれた挿入ターゲットとを備え、前記ターゲットが、 $(0.05 \sim 0.2) \times d_{\max}$ の範囲の直径を有する回転体の形で、任意の凝縮された材料から作られる (d_{\max} は前記アノードの対称軸に垂直な面における前記アノードの最大断面寸法) ことを特徴とする請求項 9 に記載の装置。

【請求項 1 3】

導電性材料からなる少なくとも 1 つのシールドが、前記アノードの尾部に取り付けられることを特徴とする請求項 9 に記載の装置。

10

【請求項 1 4】

前記シールドが、前記アノードの前記プラズマ・カソードに最も近い端部から最大 $2.0 d_{\max}$ までの距離だけ隔置された、 $5 d_{\max}$ 以上の直径を有する薄壁の回転体である点にある (d_{\max} は前記アノードの対称軸に垂直な面における前記アノードの最大断面寸法) ことを特徴とする請求項 1 3 に記載の装置。

【請求項 1 5】

前記薄壁の回転体が、前記アノードの方向を向いている平坦または凹形の表面を有することを特徴とする請求項 1 4 に記載の装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

20

【0001】

本発明は、

凝縮された物質 (液体、または固体が好ましい) を、高密度核反応プロセスおよび慣性閉じ込め核融合 (Inertia Confinement Fusion、以下 ICF) が可能な程度の超高密度状態まで爆縮する方法と、

上記方法を実施することができるように設計された、プラズマ・カソードを備える相対性理論が適用可能な程度の速度にまで加速可能な真空 2 極管 (Relativistic Vacuum Diode、以下、単に「相対論的真空 2 極管」又は「RVD」という) を基にした装置の構造とに関する。

【0002】

30

この技術は、以下を目的として、実際的にある元素の原子核を他の元素の核に核変換することを意図したものである：

安定した超ウランの合成を含む、元素の同位体 (安定した同位体が好ましい) を実験的に得ること、

長寿命の同位体が含まれた放射性廃棄物を、短寿命の同位体および/または安定した同位体が含まれた物質に再処理すること。後者は、例えば工業や医療で広く使用されているコバルトの放射性同位体などがベースの使用済みガンマ線源を除去する点で、特に重要である。

【0003】

将来は、好ましくは固体であるターゲットを利用して慣性閉じ込め核融合 (ICF) でエネルギーを得るために、この方法が役立つ可能性がある。

40

【0004】

上記を説明するために、本明細書および添付の特許請求の範囲で用いる次の用語は、以下に示す概念を表す。

「ターゲット」とは、1 回の爆縮に使用される量の、少なくとも 1 つの元素からなる少なくとも 1 つの任意の同位体のことである。これは、核変換の生成物質を得るための原料であり、任意で、エネルギーを生成するための 1 次エネルギーの担体であってもよい。

「爆縮」とは、自己収束型高密度波によってターゲットの少なくとも一部分を等エントロピー圧縮することである。

「超高密度状態」とは、ターゲットの少なくとも一部分が、衝撃によって圧縮された後

50

の状態のことである。この状態では、ターゲット物質のかなり部分が電子 - 原子核プラズマと電子 - 核子プラズマに変換される。

「高密度核反応プロセス」とは、少なくとも核変換を起こす超高密度状態まで圧縮されたターゲット物質の、電子 - 原子核プラズマ成分と電子 - 核子プラズマ成分との再結合相互作用（具体的には「低温プラズマ」の核変換作用）のことである。

「プラズマ・カソード」とは、放電パルスの初めに、電子仕事関数がゼロ付近のプラズマ殻（表面近くの層の物質からなるプラズマの殻）を生成することができる、軸対称 R V D 陰極の消耗部分のことである。

「アノード」とは、R V D アノードの、交換可能な使い捨て軸対称部品のことである。この部品は、好ましくは主要部分が導電性の材料から形成され、最も簡易な実験装置においてはそのままターゲットとして使用できる。あるいは、アノードが工業的に利用される場合は、アノードの内部にターゲットが軸対称に固定されて、音波の伝達を可能にする、硬くて頑丈な材料からなる少なくとも 1 層の殻の形状を有している。

10

「焦点空間」とは、R V D 真空チャンパ内の、R V D 電極の一定の長さの幾何対称共通軸の空間的な領域のことである。障害物がなく、事前設定値（プラズマ・カソード放出面積、電子のエネルギー、電流密度）の下において、その空間内で、相対論的電子の自己収束により電子ビームのピンチ効果が得られる。

【 0 0 0 5 】

理論的に、制御された核融合を行うには、以下の必要十分条件があることが知られている（特許文献 1）：

20

第 1 に、質量が通常数マイクログラムから数ミリグラムの、顕微鏡的サイズのターゲットを作ること、

第 2 に、形成したターゲットを空間に固定すること、

第 3 に、ターゲットをできるだけ均一に爆縮させることによって、ターゲット物質を超高密度状態に移行させること、

第 4 に、かかる状態に（エネルギーの放出または吸収が伴う可能性がある）、ターゲット物質を原子変換および / または核融合に十分な時間だけ保持すること。

【 0 0 0 6 】

上記のターゲットの質量の制限については、主として I C F の場合に重要になることに言及する必要がある。というのは、1 m g の重水素や、重水素と三重水素の混合物 1 m g が、トリニトロトルエン約 2 0 ~ 3 0 k g のエネルギーに相当するからである。

30

【 0 0 0 7 】

また、超高密度状態に到達した状態では、実際には核変換および / または核融合が同時に発生することが理論的に明らかになっている。したがって、核物理学分野における研究者の活動はこれまで、物質を爆縮するために最も効率的な方法および手段を作り出すことに向けられてきた。

【 0 0 0 8 】

最後に、以下の点がやはり理論的に明らかになっている：

かかる圧縮が可能になるのは、数十ナノ秒程度の持続期間を有する高出力の機械的インパルスを生成し、その衝撃を、周囲空間から確実に隔離される容積内に配置されたターゲット表面のほぼ全域 ~ 全域に集中させる条件下のみであること、

40

そのために、1 次エネルギー源や、少なくとも 1 つのエネルギー蓄積装置、蓄積されたエネルギーを機械的な衝撃インパルスに変換するための少なくとも 1 つの変換器、その衝撃をターゲットへ基本的に等エントロピーで移行するための機械的ストライカなどの、エネルギー束を時間的空間的に圧縮する手段が必要であること、

かかる手段およびその手段同士の相互作用の十分な構成を求める課題は、第 1 の、ただし唯一ではないエネルギー蓄積装置が通常は L C 回路ベースの装置であるならば（商用電力網に接続されている場合）、物質爆縮実験の目的に応じて、様々な方法で解決することができること（例えば、非特許文献 1 参照）。

【 0 0 0 9 】

50

数年にわたり、上記の理論的仮定を実際実現する活動は、ICFだけが対象となっていた。ICFを産業的に実用化することが、人類が「エネルギーパラダイス」へ向かうための十分条件だと思われていたのである。

【0010】

このため当初より、作用物質として、気体である重水素または重水素 + 三重水素だけが使用され、ターゲットは、上記水素同位体が顕微鏡的な微量（約0.1mg）が充填された中空の気密球体の形に製造された。次いで、かかるターゲットのそれぞれに向けて、複数のレーザ・ドライバのビームが多面から均一かつ同時に向けられた。

【0011】

このターゲットの殻を加熱すると、その外側部分がアブレーション（部分的気化）を引き起こす。この気化した物質が膨張することによって、爆縮、すなわちこの殻の内側部分およびターゲットの有効物質を球体中心方向に均一に圧縮させる反力が生じる（例えば、特許文献1、非特許文献2、3を参照）。

【0012】

上記ICF方式は申し分ないと思われていた。実際に、レーザ照射パルスの持続時間は約1nsまで延ばすことができる。これによって、エネルギー束を効率的に、時間的に凝縮することができるようになり、ターゲット表面面積が急激に縮小されれば、それが上記エネルギー束を空間的に絞るための必要条件にもなり得る。

【0013】

しかし残念ながら、レーザの効率は5%を超えない。当初より、ローソン条件（非特許文献4）を考慮すると、このレーザ・ドライバの有効性が疑問視されていた。さらに、レーザのスイッチングを同期させるには、複雑な自動制御システムが必要になる。最後に、アブレーションでは、殻およびターゲット全体を加熱するため、エネルギーが著しく損失する。したがって、これまで、ターゲットであるガス状物質を超高密度状態に至らせた者はおらず、ICF開始に要するエネルギー消費以上の、プラスのエネルギー収量を得た者もない。

【0014】

また、超音波励振器によって、核融合反応を起こすのに十分な圧力と温度を作り出す研究活動が知られている。この超音波励振器で、凝縮されたターゲット（特に液体）にキャビテーションを引き起こさなければならない（特許文献2、3、4）。具体的には、特許文献5に以下について記載されている。つまり、

（1）少なくとも1つの機械的な超音波振動源と、

上記の振動を、共振モードで単位面積当たりのエネルギー束密度を増大させながら、閉じ込められたターゲット本体内に伝達できる、好ましくは複数である音波伝導体と、

適当な熱交換器の形で熱を除去する手段とを備える、キャビテーション核融合反応炉。

（2）核融合に必要な燃料物質（チタン重水素化物、リチウム重水素化物、ガドリニウム2重水素化物などが好ましい）を、高融点金属（例えば、チタン、タングステン、ガドリニウム、オスミウム、モリブデンなど）製の固体の音波伝導母材内に圧入することによって、音波を伝達しにくいターゲットを製造するステップと、

少なくとも1つのかかるターゲットを含んだ少なくとも1つのかかる母材を、上記機械的な超音波振動源に接続された少なくとも1つの音波伝導体と超音波接触させるステップと、

共振モードでひと続きの超音波インパルスを与えて、かかる母材に作用を加えるステップであって、この作用が、この機械的振動の運動エネルギーを熱に変換することにより、重水素化物の機械的かつ化学的破壊と、ターゲットの流動化を引き起こし、それとほぼ同時に、ターゲットから重水素が「気化」されることにより、「液体」のターゲットでキャビテーションを引き起こす、すなわち蒸気の気泡が出現し、その気泡が母材の圧力を受けて崩壊するステップと、

ターゲット内部のエネルギーが解放される核融合反応が完了した後、このプロセスを終わらせるステップとを含む、上記の反応炉を使用する方法である。

10

20

30

40

50

【 0 0 1 5 】

初期状態で固体のターゲットと、そのターゲットを爆縮させるために超音波の機械的インパルスを使用するのは、かなり魅力的のように思える。しかし残念ながら、レーザと同様に、超音波源の効率は微々たるものである。さらに、レーザと異なり、超音波源がもたらすインパルスの出力密度はかなり小さく、そのため、この「超音波源 - 重水素化物ターゲット」系を共振モードにすることが必要になる。しかし、共振モードでも、エネルギーの大部分はターゲットの加熱に費やされ散逸する。したがって、エネルギーをターゲットに長く注入した場合でも、物質を超高密度状態まで爆縮することはできなかった。

【 0 0 1 6 】

したがって依然として、物質を超高密度状態まで爆縮する実現可能な方法および手段を作り出すことが差し迫った課題である。

10

【 0 0 1 7 】

その解決策を求める、RVDの使用をベースにした長期的な取組みが、20世紀初頭より知られている(例えば、(1)非特許文献5、(2)特許文献6参照)。

【 0 0 1 8 】

RVDはそれぞれ、内部にカソードとアノードが固定された真空チャンバを備え、上記カソードおよびアノードはパルス放電器を介して電荷蓄積装置に接続される。十分な充電と短時間の放電パルスにより、かかる2極管は、90%を上回る効率でカソードの表面から爆発的に電子を放出し、その電子を相対性理論が適用可能な程度の速度まで加速することができる。

20

【 0 0 1 9 】

強力な電子ビームの発生器および加速器からなるこの爆縮機能の点でまさに、相対論的真空2極管は、20世紀の間中物理学者の注目の的であった。かかる2極管全体と、特にそのカソードの設計に対する機能強化の多くは、電子ビームのエネルギーを空間的・時間的に絞り、そのビームを必要な空間的・形状に形づくるためのものであった。

【 0 0 2 0 】

ICFのためにRVDの衝撃で物質を圧縮する方法を作り出す研究活動については、特許文献6から分かる。この方法は、

第1に、凍結させた熱核反応燃料(すなわち、重水素、または重水素+三重水素の混合物)から凝縮された物質(固体が好ましい)からなる対称的なペレットの形をしたターゲットを製造するステップと、

30

第2に、RVD電極同士の間、つまり陽極プラズマ生成手段の出力が開通する空間に、上記ターゲットを配置するステップと、

第3に、陽極プラズマの注入と、陽極プラズマを介した強力な電流(100TW、エネルギー1MJ程度)の短絡回路による環状のインパルス(10ns)衝撃によるターゲットの圧縮とを実質的に同期して行うステップとを含む。

【 0 0 2 1 】

ただし、かかる方法では、ターゲット物質を超高密度状態に圧縮して、その状態を、エネルギー解放が伴う核融合を行うのに十分な時間保持することができない。というのは、ターゲットのサイズが、約1.5MeVというエネルギーを有する電子のビーム幅より明らかに小さいからである。したがって、電子の運動エネルギーは実質的にターゲット全体で直ちに熱エネルギーになって、この核燃料の空間的・熱的な爆発を引き起こす。さらに、この周知の方法では、自在に浮遊するターゲットを環状のRVDカソードの中心に命中させるのと、エネルギー源の放電とを同期させること、ならびに平坦なプラズマ・アノードを製造することが非常に困難である。したがって、放電電圧と陽極プラズマ密度を調節しても、時折でしか電子流をターゲットに収束させることができない。

40

【 0 0 2 2 】

同じ特許文献6から分かる、物質を爆縮させるためのRVDベースの装置は、熱交換器が取り付けられ、ターゲットを送るためのチャンネルを装備した球状の真空チャンバと、真空チャンバの中央平面に対して対称的に配置された2つの環状カソードと、上記カソード

50

同士の間配置され、この電子供給回路が放電を行う直前に平坦なプラズマ・アノードを形成する追加のプラズマ注入装置とを備える。

【0023】

そして最後に、同じ特許から分かる上記カソードは、通電部分と、電場勾配をそこで増大させるための鋭い縁部を有する、リング状に作られた焦点合わせ用の先端を有する。かかるカソードの縁部は、放電中、それ自体のプラズマの層で覆われる。

【0024】

上記環状電子ビームエネルギーの実質的な部分を、かかるRVD内のターゲットに伝達することは、実際には不可能である。というのは、このビームはすでに、形成された瞬間にすでにもうピンチ閾値にあり、不安定な状態だからである（特に、基本的に各パルス中も、パルスとパルスの間も、パラメータが変化するプラズマ・アノードと相まって）。

【0025】

以上より、アノードは固体物質から作られ、それ自体がターゲットとして機能するか、ターゲットを中に組み入れることが望ましく、両電極間の間隙におけるピンチの発生を防止し、アノード表面において放電プロセスと同時に電子ビームの自己収束を実現するようにすることが望ましい。

【0026】

入手可能なデータによれば、かかる手段の開発においては主として、基本的に平坦なアノードを使用しながらRVDカソード放射源を形づくることにだけに注目が集まっていたということは驚くべきことである。この手法の顕著な例は、誘電体材料の成形プレートと、そのプレートと厳密に同じ形状をした、そのプレートの表面の一部分を覆うための導電性カバーとを有するプラズマ・カソードを備える、RVDベースの電子パルス源がある（特許文献7）。かかる複合カソードは、パルス放電下でピンチ効果を受けない、上記誘電体プレートの形状に対応する形状をした電子ビームを生成することができる。

【0027】

しかし、ICFおよび高密度核反応プロセスに必要な、できる限り均一なターゲットの圧縮は、電子ビームを形づくることだけでは実現することができない。したがって、上述のRVDおよびその類似物は、物質を超高密度状態になるまで爆縮するプロセスにおいて、実現可能な形で適用することができない。

【0028】

両電極間の間隙においてピンチ効果を抑制する課題と、ターゲット表面で電子ビームの自己収束を可能にする課題とにより、多くの物理学者は、非常に悲観したため、核変換プロセスおよびICFのためのドライバとして、RVDは基本的に適用できないという結論に達した（例えば（1）非特許文献7、（2）非特許文献8などを参照）。

【0029】

しかしそれにもかかわらず、この方針の研究は継続された。

【0030】

したがって、本発明に最も近い、技術上の本質についての、物質の爆縮に原則的に適用可能な方法および手段が、粒子加速器国際会議で開示され（非特許文献9）、その後論文で開示された（非特許文献10）。

【0031】

この物質の爆縮方法は、当分野の技術者には上記の情報源から容易に理解することができるであろう。この方法は、

RVDアノードの少なくとも一部分である、凝縮された物質からなる軸対称部品の形をした（すなわち、数マイクロメートル程度の直径を有する半球形の、ニードル状アノードの先端の形をした）ターゲットを製造するステップと、

上記アノードと同じ幾何軸上に実質的に位置する、そのアノードから数ミリメートル隔置された軸対称プラズマ・カソードがさらに取り付けられたRVD内に、上記ターゲットを配置するステップと、

上記アノードの表面に対して、電子ビームの自己収束モードで電源をRVDを介してパ

10

20

30

40

50

ルス放電するステップとを含む。

【0032】

上述の物質の爆縮方法を使用する装置が、RVDベースで製作された。この装置は、部分的に導電材料でできた、真空チャンバを閉じ込める、軸対称形状の頑丈な気密ハウジングと、

実質的に同じ幾何軸上にあり、上記チャンバに固定された、軸対称プラズマ・カソードおよび軸対称アノードとを備え、少なくともプラズマ・カソードが、パルス高電圧電源に接続される。

【0033】

上記カソードは、「端部が誘電体エレメントになっている、アノードへの方向に細まった導電（通常は金属）ロッド」の従来方式に従って製作される。上記エレメントの動作端部の外周および面積は、それぞれ上記ロッドの外周、断面以下の大きさである（非特許文献11）。

10

【0034】

この特定の幾何形状に両電極を形づくると、RVDの間隙でピンチを抑制することが可能になり、電子ビームが鋭くなって、アノードの小さな表面部分に対する自己収束が実現する。

【0035】

しかし、かかるアノードにおける本質的な先端の作用は、物質の爆縮に対するRVDの適用可能性を実証するのに適しているだけで、パルス放電毎にターゲット本体の実質部分を超高密度状態に圧縮することは実現できない。

20

【特許文献1】

米国特許第4,401,618号

【特許文献2】

米国特許第4,333,796号

【特許文献3】

米国特許第5,858,104号

【特許文献4】

米国特許第5,659,173号

【特許文献5】

国際公開第01/39197号

【特許文献6】

米国特許第3,892,970号

【特許文献7】

ソ連特許第1545826A1号

【非特許文献1】

W. H. Bostick、V. Nardy、O. S. F. Zucker著「Energy Storage, Compression and Switching」、Plenum Press、New York and London

【非特許文献2】

J. Lindl著、「Physics of Plasmas」、1995

40

【非特許文献3】

K. Mima他著、「Fusion Energy」1996、IAEA、Vienna、V. 3、p. 13、1996

【非特許文献4】

J. D. Lawson著、「Proceedings of the Physical Society」、B. 70、1957

【非特許文献5】

C. D. Child著、「Physical Review」、V. 32、p. 492、1911

【非特許文献6】

I. Langmuir著、「Physical Review」、V. 2、p. 450、1913

【非特許文献7】

James J. Duderstadt、Gregory Moses著、「Inertial Confinement Fusion」、John Wiley

50

y and Sons、New York、1982

【非特許文献 8】

E. P. Velikhov、S. V. Putvinsky 著「Fusion Power. Its Status and Role in the Long-Term Prospects」、4.2.2. 「Drivers for Inertial Controlled Fusion」<http://relcom.website.ru/wfs-moscow>

【非特許文献 9】

S. Adamenko、E. Bulyak 他著「Effect of Auto-focusing of the Electron Beam in the Relativistic Vacuum Diode」Proceedings of the 1999 Particle Accelerator Conference、New York、1999

【非特許文献 10】

V. I. Vysotski、S. V. Adamenko 他著「Creating and Using of Superdense Micro-beams of Relativistic Electrons. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research」、A455、2000、pp.123-127

【非特許文献 11】

Mesyats G. A. 著「Cathode Phenomena in a Vacuum Discharge : The Breakdown, the Spark and the Arc.」、Nauka Publishers、Moscow、2000、p. 60

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0036】

したがって、本発明は、以下の態様からなる課題がベースになっている：

第1に、パルス状のRVD放電毎にターゲット物質の実質部分を超高密度状態まで爆縮する方法を創出するように、上記各ステップの実行条件を変更すること、

第2に、上記方法を効果的に適用できる、衝撃で物質を圧縮するための装置を創出するように、RVD内の電極の形状および相対位置を変更すること、

第3に、上記方法の最も経済的かつ効果的な適用を実現する軸対称プラズマ・カソードを創出するように、軸対称プラズマ・カソードの導電部分と誘電体部分の形状比および寸法比を変更すること。

【課題を解決するための手段】

【0037】

上記課題の第1の態様は、以下のように解決される。つまり、導電性壁面と軸対称プラズマ・カソードと軸対称アノードとを備えた軸対称の真空チャンバを有する相対論的真空2極管を使用して衝撃で物質を圧縮する方法において、この方法が、

上記アノードの少なくとも一部分として機能する、凝縮された物質からなる軸対称部品の形をしたターゲットを製造するステップと、

上記アノードを、上記相対論的真空2極管チャンバ内の、上記プラズマ・カソードと実質的に同じ幾何軸上に、そのプラズマ・カソードに向かって軸方向の間隙を設けて配置するステップと、

上記アノードの表面に対して、電子ビームが自己収束する形で、電源から上記相対論的真空2極管を介してパルス放電させるステップとを含み、本発明に従って、

上記軸対称プラズマ・カソードが、導電ロッドと放出面積が前記プラズマ・カソードの対称軸に垂直な面における前記導電ロッドの最大断面積より大きい誘電体エンド・エレメントとを一体的に組み立てた形で使用され、

上記アノードが、その作用表面の曲率中心が集散的に自己収束する電子ビームの焦点空間内部に位置するところに、上記プラズマ・カソードの上記誘電体エンド・エレメントに向かって軸方向の間隙を設けて配置され、

上記アノードが、電子エネルギー0.2MeV以上、電流密度 10^6 A/cm²以上、持続時間100ns以下を有する電子ビームから作用を受けることで解決される。

【0038】

この方法を適用した結果は図らずも、その結果を得るために10年以上努力してきた本発明者にとっても全く予想していないものである。したがって、非常に純粋な銅、タンタ

10

20

30

40

50

ル、およびその他の材料からなる最も単純な単一金属のターゲットを使用することで、以下の点を実験的に実証することができた：

衝撃によって圧縮された後、各ターゲット塊の有形部分がばらばらになって広がり、RVD真空チャンバの壁面および/または後述のシールド上に核変換生成物質の凝集物として析出したこと、

凝集物のうちのいくつかは、かなり単一に近い元素組成であったこと、

その凝集物中に、ターゲット物質に混合物として存在していなかった既知の元素の安定した同位体だけでなく、現在未知のまだ特定されていない超ウランの比較的安定した同位体も、確かに検出されたこと、

ターゲット物質の核変換生成物質の同位体組成が基本的に、地殻中の同じ元素の同位体組成についての参照データと異なること、

核変換ゾーンから、正の熱エネルギー収量を検出する試みは、これまでのところ失敗だったということ。

【0039】

上記では、本発明による核変換と、磁氣的に閉じ込められた陽極プラズマを含んだ源から生成され、複雑で運転中は危険な、5 MeVを超えるイオン・エネルギーで1 kW程度の出力束を得るためのパルス加速器（例えば、米国特許第5,848,110号を参照）内に流したイオン（通例、重陽子）で固体ターゲット（例えば同じ銅またはモリブデンでできたもの）に衝撃を与えることによって達成される従来の核変換とは、基本的に区別される。実際に、本発明のプロセスでは、前もって知られている元素（例えば、Zn⁶⁵、Mo⁹⁹、I¹²³、O¹⁵など）の前もって知られている主として放射性的同位体しか生成できないが、少なくとも化学的調査に十分な量の超ウランを核融合することが可能である。

【0040】

上記、並びに下記に詳細に説明する本発明による方法を実行した結果により、電子ビームは、アノード表面の実質部分に集合的に自己収束し、その表面近くの層で、ターゲットの対称軸の方に集中する機械的な孤立波状の密度インパルスを励起していると仮定することが可能になる。このインパルスは、電子ビームから受け取ったエネルギーを、等エントロピーの形で、対称軸近傍のターゲット物質の一部分に伝達する。上記インパルスの前縁は、球状になる傾向がある。したがって、孤立波状のインパルスが、ターゲット対称軸上に中心を有する一定の小さな空間まで縮小されると、その前縁はより急勾配になり、そのエネルギー密度は、その物質が高密度核反応プロセスの進行に十分な超高密度状態に達するのに足るだけの大きさまで増大する。これが、消費電力が最小限の、最も簡易な（ならびに、非常に重要なのは、稼動中実質的に安全な）RVDタイプの電子加速器によって、広いスペクトルの同位体発生量を有する核変換原子核反応が可能なる理由である（下記に詳細に示す）。

【0041】

第1の追加の特徴は、上記相対論的真空2極管プラズマ・カソードで、先の尖った導電ロッドが使用され、このカソードの上記誘電体エンド・エレメントが、上記ロッドに固定されるための開口を備え、その開口が、上記ロッドの尖った端部で固定されるように配置される点にある。これによって、RVD電極間の間隙を少なくとも部分的に制御すること、ならびにプラズマ・カソードの動作を安定させることが可能になる。このことは特に、爆縮プロセスの実験を最適化する上で重要である。

【0042】

第2の追加の特徴は、上記ターゲットが、上記RVDアノードの中心部分へ挿入可能な形状の挿入体として形成され、上記挿入体の直径が、上記アノードの対称軸に垂直な面における上記アノードの最大断面寸法の0.05~0.2倍の範囲で選択される点にある。これによって、超高密度状態への圧縮対象として、固体状態でも液体状態でもその電気伝導度およびその使用量に関係なく、任意の材料を使用することが可能になる。もちろん、液体は、アノードの固体の殻内に直接カプセル化する、あるいは個別の殻にカプセル化すべきである。個別の殻の場合は、密閉後、音波透過性を最大にするようにアノードに挿入

10

20

30

40

50

しなければならない。

【 0 0 4 3 】

第 3 の追加の特徴は、上記アノードの少なくとも上記プラズマ・カソードの方を向いている部分が、上記相対論的真空 2 極管への取付け前に、回転楕円体の形状に形成される点にある。これによって、機械的な孤立波状の密度インパルスを顕微鏡的に小さい空間に凝縮することが可能になり、この凝縮の結果、各ターゲット物質を超高密度状態になるまで爆縮して、単一の「ショット」に対して最小 (3 0 0 ~ 1 0 0 0 J 程度) のエネルギー消費でも、核変換された生成物質からなる $1 0^{17} \sim 1 0^{18}$ 個の原子を産出することが可能になる。

【 0 0 4 4 】

第 4 の追加の特徴は、上記ターゲットが、前記アノードの内部に密着して固定される回転楕円体の形状に形成され、前記ターゲットが形成する内側の回転楕円体と前記アノードが形成する外側の回転楕円体の中心が実質的に一致する点にある。これにより、核変換された物質の発生量を基本的に増加させることが可能になる。

【 0 0 4 5 】

第 5 の追加の特徴は、上記アノードが、電子エネルギー最大 1 . 5 M e V まで、電流密度 $1 0^8 \text{ A} / \text{c m}^2$ 以下、持続時間 5 0 n s 以下の電子ビームから作用を受ける点にある。周期表の「中間部分」の元素の最も安定した原子からなるターゲットで、高密度核反応プロセスが進行するには、こういったパラメータで十分である。

【 0 0 4 6 】

第 6 の追加の特徴は、電子ビームの電流密度が、 $1 0^7 \text{ A} / \text{c m}^2$ 以下である点にある。凝縮されたターゲット材料の大部分を効果的に爆縮するには、この電流密度で十分である。

【 0 0 4 7 】

第 7 の追加の特徴は、上記相対論的真空 2 極管の真空チャンバ内の圧力が、0 . 1 P a 以下のレベルに維持される点にある。このレベルで完全に、R V D 電極間の気体放電を防止することができる。

【 0 0 4 8 】

上記課題の第 2 の態様は、以下の点で解決される。つまり、相対論的真空 2 極管を基にした、物質を爆縮するための装置において、その装置が、

一部分が導電材料でできた軸対称真空チャンバとしての形をした頑丈な気密ハウジングと、

上記真空チャンバ内に軸方向の間隙を設けて取り付けられ、実質的に同じ幾何軸上にある軸対称プラズマ・カソードおよび軸対称アノードとを備え、少なくとも上記カソードがパルス高電圧電源に接続され、本発明に従って、

上記軸対称プラズマ・カソードが、導電ロッドと放出面積が前記プラズマ・カソードの対称軸に垂直な面における前記導電ロッドの最大断面積より大きい誘電体エンド・エレメントとを一体的に組み立てた形に形成され、

上記相対論的真空 2 極管の電極のうち少なくとも一方が、その両電極間の軸方向の間隙を調節する手段を備え、

上記プラズマ・カソードおよび上記アノードの共通幾何軸から、上記真空チャンバの導電壁の内側側面までの距離が、 $5 0 d_{\text{max}}$ よりも大きい (d_{max} は前記アノードの対称軸に垂直な面における前記アノードの最大断面寸法) ことで解決される。

【 0 0 4 9 】

上記の特徴の組み合わせを有する R V D は、上記の本発明による方法という主題の説明で明らかにしたように、少なくともある元素の核を他の元素の核に核変換するのに役立つ。

【 0 0 5 0 】

第 1 の追加の特徴は、上記プラズマ・カソードの導電ロッドの端部が尖っており、上記誘電体エンド・エレメントが、上記ロッドに固定されるための開口を備え、その開口が、

10

20

30

40

50

上記ロッドの尖った端部で固定されるように配置される点にある。かかる設計によって、プラズマ・カソードの動作を安定させることが可能になり、RVD内で、誘電体エンド・エレメントを導電ロッドに対して移動させることによって、両電極間の間隙を少なくとも部分的に調節することが可能になる。

【0051】

第2の追加の特徴は、上記アノードが、円形の断面形状を有し、その主要部分が導電性の材料から全体が製造される点にある。これによって、純金属および合金の最も簡易な試料について核変換の効果を実証し、特に超ウランを生成することが可能になる。

【0052】

第3の追加の特徴は、上記アノードが複合化され、少なくとも1層の固体殻と、その殻に密着して取り囲まれた挿入ターゲットとを備え、上記ターゲットが、 $(0.05 \sim 0.2) \times d_{max}$ の範囲の直径を有する回転体の形で、任意の凝縮された材料から作られる点にある (d_{max} は前記アノードの対称軸に垂直な面における前記アノードの最大断面寸法)。これによって、原子核の核変換のためだけでなく、エネルギーを生成するために、ローソン条件をかなり(少なくとも1桁)超過して高密度核反応プロセスが進行する空間で、物質の爆縮を行うことが可能になる。

【0053】

第4の追加の特徴は、好ましくは導電性がある材料からなる少なくとも1つのシールドが、上記アノードの尾部に取り付けられる点にある。このシールドにより、メイン・ターゲットを超高密度状態まで爆縮した結果として生成された、高密度核反応プロセスの生成物質の一部分を捕獲することができ、かつアノードの核変換された粒子が分散したときに、原子核相互作用のための追加のターゲットとして機能することができる。

【0054】

第5の追加の特徴は、上記シールドが、上記アノードの上記プラズマ・カソードに最も近い端部から最大 $20 d_{max}$ までの距離だけ隔置された、 $5 d_{max}$ 以上の直径を有する薄壁の回転体である点にある (d_{max} は前記アノードの対称軸に垂直な面における前記アノードの最大断面寸法)。かかるシールドは、アノード表面の大部分に対する電子ビームの自己収束を促進し、高密度核反応プロセスの生成物質の有形部分を捕獲する。

【0055】

第6の追加の特徴は、上記薄壁の回転体が、上記アノードの方を向いている平坦または凹形の表面を有する点にある。これによって、真空チャンバの壁上における高密度核反応プロセス生成物質の析出速度が著しく遅くなる。

【0065】

以下の点が理解されよう：

本発明の特定の実施形態を選択する際は、本発明の主要コンセプトによる上記追加の特徴の任意の組合せが可能であること、

本発明のコンセプトは、当業者の一般知識を使用して、特許請求の範囲で定義される範囲内で補足かつ/または指定することができること、

下記に開示する本発明の好ましい実施形態は、本発明の範囲を限定するためのものではないこと。

【0066】

次に、衝撃によって物質を圧縮するための装置および方法を添付の図面を参照して詳細に説明することによって、本発明の本質を説明する(高密度核反応プロセスにおける核変換の例を用いる)。

【発明を実施するための最良の形態】

【0067】

本発明による装置(図1)は、RVDを基にして作られる。

【0068】

この装置の基本的な部品は、

部分的に導電材料(例えば銅やステンレス鋼)でできた、運転状態では誘電体エンド・

10

20

30

40

50

カバー 2 で密閉され、必要に応じて少なくとも 1 つの管（図示せず）を介して真空ポンプに接続される真空チャンバを閉じ込める、軸対称形の頑丈な気密ハウジング 1 と、

カバー 2 に一体的に密着して固定される、断面が好ましくは円形で、長手方向部分が好ましくはテーパ状になっている、RVD を後述のパルス高電圧電源に接続するための非消耗型の軸対称導電ロッド 3 と、

消耗した時に交換可能な軸対称プラズマ・カソードと、このプラズマ・カソードは、ロッド 3 に固定される尾部を有する導電ロッド 4 と、

ロッド 4 と一体的に連結された誘電体エンド・エレメント 5 とを含み、上記エレメント 5 は、ロッド 4 の断面積より大きい放出面積を有し、

ターゲット 7 と一体になっていても、ターゲット 7 を含んでいてもよい、最大断面積が上記誘電体エンド・エレメント 5 の放出面積よりも小さい、軸対称の アノード 6 と、

任意選択で、好ましくは導電材料からなるシールド 8 が、アノード 6 の尾部に取り付けられ、

両電極間の間隙、すなわちプラズマ・カソードの誘電体エレメント 5 の端面とその対称軸との交点と、アノード 6 の端部の同様の点（どちらも実質的に同じ幾何軸に沿って位置する）との間の空間を調節する少なくとも 1 つの手段（特に図示しないが、プラズマ・カソード 4、5 および アノード 6 の下に矢印の対で示す）である。

【0069】

最も簡単な場合の RVD パルス高電圧電源（図 2）は、当分野での技術者には周知である、少なくとも 2 つのプラズマ電流遮断器（またはその他の遮断器）を備える、少なくとも 1 つの容量性または誘導性のエネルギー蓄積装置を含んだシステムである。ただし、直列に接続した以下のものを備える「ハイブリッド」電源（図 2）が好ましい（例えば、1 . P . F . Ottinger 著、「Journal of Applied Physics」、56、No. 3、1984 年、2 . G . I . Dolgachev 他著「Physics of Plasma」、24、No. 12、1078 頁、1984 年を参照）：

商用電力網および高電圧出力巻線に接続する手段を備える入力トランス 9 と、

適当なコンデンサおよびインダクタ（図示せず）を備える蓄電用 LC 回路 10 と、

一平面に対称的に配置された当分野の技術者には周知のプラズマ・ガンのセット（ガンの数は具体的には最大 12 本、LC 回路内のコンデンサ数と通常等しい）を備える、LC 回路で放電電流をプラズマで遮断するためのユニット 11。

【0070】

もちろん、上記動力ユニットの他に、RVD パルス高電圧の電源は通常、少なくとも 1 つのログスキー・コイルや少なくとも 1 つの容量分圧器などのパルス電流および電圧を測定する手段（図示せず）を含む。

【0071】

かかるタイプの電源が、後述の、衝撃により物質を超高密度状態に圧縮する実験で、RVD に供給するために使用された。この電源は、以下の制御パラメータ値を与えることができる。

ビーム電子の平均エネルギー . . . 0 . 2 ~ 1 . 6 MeV

電子ビーム持続時間 100 ns 以下

電子ビーム出力 $2 \times 10^9 \sim 0 . 75 \times 10^{12} \text{ W}$

高電圧放電電流 10 kA ~ 500 kA。

【0072】

物質の爆縮方法を効果的に行うには、RVD の個別部品およびターゲットを製造するときに、いくつかの追加条件に従うことが推奨される。

【0073】

したがって、プラズマ・カソード 4、5 および アノード 6 の共通幾何軸からハウジング 1 の導電壁の内側側面までの距離が $50 d_{\max}$ を超えないことが重要である。ここで d_{\max} は、前記 アノード 6 の対称軸に垂直な面における前記 アノード 6 の最大断面寸法である。

【0074】

10

20

30

40

50

プラズマ・カソード(図3)は、先の尖った導電ロッド4と、非貫通口または貫通口を備えた誘電体エンド・エレメント5とを有することが好ましい。このエレメント5は、ロッド4の固定部分の上記の先の尖った端部が上記開口の内部に位置するように、少し密着した状態でロッド4に嵌合されなければならない。かかる開口の断面形状と、ロッド4の断面形状は、軸方向に対称の条件に従うならば、円形であってはならない(例えば、長円形や楕円形、図4に示すように星形などにする)。

【0075】

また、少なくともプラズマ・カソードの対称軸に対して垂直な面にある誘電体エレメント5後端の外周(図4)は、導電ロッド4の外周を連続的な間隙で取り囲むことが好ましい。この条件は、ロッド4およびエレメント5の断面輪郭の様々な形状で実現できることを理解されたい。

10

【0076】

プラズマ・カソードの誘電体エンド・エレメント5は、例えば図4に示すように元々きめの粗い表面や、少なくとも任意の一方向に意図的に波形を付けた表面など、加工された外側表面を有すると非常に好ましい。具体的には、断面が軸対称多角形の星形を有するエレメント5を使用することができる。

【0077】

上記エレメント5の最小断面寸法 $C_{de\ min}$ は $(5 \sim 10) \times C_{cr\ max}$ の範囲内にあり、長さ l_{de} は $(10 \sim 20) \times C_{cr\ max}$ の範囲内にあることが好ましい。ここで $C_{cr\ max}$ は導電ロッド4の最大断面寸法である。

20

【0078】

プラズマ・カソードの上記エレメント5は、選択した動作電圧下でRVD電極間の間隙に絶縁破壊を起こすことができる、選択した形状および寸法の任意の誘電体材料から作ることができる。

【0079】

かかる材料は、炭素 炭素一重結合を含む炭素鎖ポリマー(例えばポリエチレン、ポリプロピレンなど)、有機粘結剤を含んだ紙基材積層体または綿フェノール樹脂(textolite)型複合材、黒檀、天然または合成雲母、周期表III-VII族に属する金属の純酸化物、無機ガラス、結晶化ガラス(sitall)、玄武岩繊維のフェルト、およびセラミック誘電体からなるグループから選択されることが好ましい。

30

【0080】

上述したように、軸対称のアノード6は、

(図5)一体型で、任意の固体の、全体として通常導電性の、好ましくは金属材料(純金属およびその合金を含む、例えば銅、タンタル、鉛など)からなるか、あるいは、

(図6)好ましくは導電材料でできた、少なくとも1層の、好ましくは球状になった殻6と、上記殻に密着して固定され、軸対称に挿入された、衝撃によって圧縮される任意の凝縮された物質(固体または液体)でできたターゲット7とを有する。

【0081】

軸対称に挿入されたターゲット7の最大直径は、 $(0.05 \sim 0.2) \times d_{max}$ の範囲内で選択されるのが好ましい。ここで d_{max} は、前記アノード6の対称軸に垂直な面における前記アノード6全体としての最大断面寸法である。ターゲット7本体は、その幾何形状に関係なく、その表面曲率の中心がアノード6の作用表面の曲率中心と実質的に一致するように、アノード6の内部に固定しなければならない。アノード6の材料内とターゲット7の材料内の転位密度はできるだけ小さくすること、これらの部品同士の間が音波的に接触していることが非常に重要である。

40

【0082】

アノード6の尾部に取り付けることができる上記シールド8は通常、好ましくは薄壁の回転体として、導電材料から作られる。上記シールド8の直径は $5 d_{max}$ 以上にし、かつそのアノード6の作用端からの距離は $20 d_{max}$ 以下にしなければならない。ここで d_{max} は、前記アノード6の対称軸に垂直な面における前記アノード6の最大断面寸法である。

50

上記シールド 8 は、アノード 6 の作用端の側方に平坦または凹形の表面を有することが好ましい（図 5 および 6）。

【 0 0 8 3 】

上記の装置を使用して物質を爆縮する方法は通常、以下のステップを含む：

a) 上記プラズマ・カソードの導電ロッド 4 を非消耗型の導電ロッド 3 に接続するステップと、

b) 核変換またはその他任意の核変換のために衝撃によって圧縮される材料からなる一体部品の形をした、あるいは、

核変換またはその他任意の核変換のために衝撃によって圧縮される材料（必要に応じて準備としてカプセル化する）でできたターゲット 7 が密着して挿入された、好ましくは 1 層の殻の形をした、

好ましくは丸みを付けた作用端を有する、交換可能な軸対称アノード 6 のセットを製造するステップと、

c) （任意選択で）少なくともいくつかのアノード 6 を銅、鉛、ニオブ、タンタルなどでできた導電シールド 8 に嵌合するステップと、

d) 次回分のアノード 6 を、RVDハウジング 1 の真空チャンバ内の実質的にプラズマ・カソード 4、5 と同じ幾何軸上に配置するステップと、

e) RVDによる電源のパルス放電時に、アノード 6 の作用表面の曲率中心が、集束的自己収束電子ビームの焦点空間内部に位置するように、プラズマ・カソードの誘電体エンド・エレメント 5 の作用端とアノード 6 との間隙を調節するステップと、

f) 上記 RVD の頑丈な気密導電ハウジング 1 のフランジに誘電体エンド・カバー 2 を取り付けて、真空チャンバを閉じるステップと、

g) RVDハウジング 1 内のチャンバを真空にするステップであって、

ターゲットに対する第 1 の「ショット」の前に少なくとも 2 回（まず空気を吸出し、次いで少なくとも 1 回清浄な乾燥窒素でチャンバを排出し、気体の圧力 0.1 Pa 以下まで再度真空にする）と、

圧力がこの値を超えている場合は、次の「ショット」を行う前ごとに少なくとも 1 回とを行う真空ステップと、

h) RVDの外部の高電圧電源を入力トランス 9 を介して電力網に接続し、実験に必要な電気エネルギーを LC 回路 10 で蓄積するステップと、

i) 電流パルスをプラズマで遮断するためのユニット 11 と、非消耗軸対称導電ロッド 3 と、交換可能な導電ロッド 4 と、RVD アノード 6 上の誘電体エンド・エレメント 5 を介して、電子エネルギー 0.2 MeV 以上、電流密度 10^6 A/cm^2 以上（ 10^8 A/cm^2 以下が好ましく、 10^7 A/cm^2 以下がより好ましい）、持続時間 100 ns 以下（ 50 ns 以下が好ましい）の電子ビームを生成する、LC 回路 10 を放電するステップと、

j) ターゲット物質の一部分を超高密度状態まで圧縮した後、得られた生成物質を RVDハウジング 1 の真空チャンバから取り除き、これらの生成物質を、一般に使用されている技術で調査するステップ。

【 0 0 8 4 】

この実験用のターゲットは、

物質を超高密度状態になるまで爆縮した結果として、核変換効果を実証し（図 5 による一体的アノード 6）、

放射性物質不活性化の可能性を評価する（図 1 および図 6 による、ターゲット 7 が挿入された中空体のアノード 6）ためのものであった。前述のように、かかるターゲット 7 は、アノード 6 に挿入して、その接合点の音波透過性を最大にしななければならない、かつ上記の両構成部品の作用表面の曲率中心は、実質的に一致させなければならない。

【 0 0 8 5 】

上記の一体的アノード 6 は通例、作用端の平均曲率半径が $0.2 \sim 0.5 \text{ mm}$ の範囲にあった。この作用端は、具体的には銅、タンタル、鉛などの、化学的に純粋な金属ででき

10

20

30

40

50

ていた。かかるアノード6は、外気中に保管してもよい。その表面に現れる酸化被膜（特に銅と鉛）は邪魔にならず、いくつかの観測によれば、上述したアノードの目的に従ってその用途を拡大しさえする。

の両構成部品の作用表面の曲率中心は、実質的に一致させなければならない。

【0086】

挿入されたターゲット7は、入手可能なCo⁶⁰同位体と、Co⁵⁶およびCo⁵⁸の人工混合物と（ウクライナのナショナル科学アカデミー原子核研究所（Nuclear Research Institute of National Academy of Sciences of Ukraine）のU-120サイクロトロンで天然ニッケルを照射して生成）でできたペレットの形を有する。

10

【0087】

かかるターゲットを使用するには、RVD真空チャンバの内部に取り付ける、ポリカプロラクトン（Capron（米国登録商標））製の追加の殻（図示せず）が必要であった。こういった殻によりRVDの両電極を包み込み、ハウジング1およびRVDカバー2の壁に放射性コバルトが析出する恐れをかなり低減させた。

【0088】

利用したコバルト同位体の放射能初期値と、核変換後に達した値は、通常のゲルマニウム・リチウム・ガンマ線検出器で照合した。

【0089】

物質を超高密度状態まで爆縮する稼動実験を開始する前に、1000回以上の調整実験を行った。この調整実験の結果を、RVD電子ビームの焦点空間にターゲットの曲率中心を命中させるために利用して、RVD電極間の間隙幅を選択、より厳密には定義した（同時にプラズマ・カソードおよびアノード6の部品4、5の寸法と、特定の電荷パラメータを考慮する）。

20

【0090】

稼動実験は、連続して行われた。その回数は回ごとに変わり、50（放射性コバルトの核変換時）～数百回の範囲に及んだ。この実験全てにおいて、通し番号付けを行った。

【0091】

使用したターゲットに関する初期データ、放電パラメータ、および得られた結果は、通し番号付きで履歴簿に記録した。

30

【0092】

RVD電極間の間隙における電圧パルスおよび電流パルスの形状と、電子ビームに実際の持続時間を、電流および電圧のオシログラムを使用してチェックした。その典型的な例が図7に示されている。こういったオシログラムやその他多くのオシログラムにより、電子ビームの持続時間が100nsを超えないことが実証される。

【0093】

重要な点は、電子ビームの電流が（RVDプラズマ・カソードにおける急激な電圧降下にもかかわらず）、ピーク値と比べてわずかしか減少していないことに注目することである。このことにより、プラズマ・カソード4、5の利用効率が証明される。

【0094】

電子ビーム生成プロセスの制御されたパラメータに関する調整実験の結果を統計処理した後、両電極間の間隙の近似寸法および焦点空間体積の近似値が決定された（表1参照）。

40

【0095】

電子ビーム生成プロセスのその他のパラメータ上の両電極間の間隙および焦点空間体積の依存関係

【表1】

表1

ビーム電子の平均エネルギー、MeV	プラズマ・カソードの誘電体エレメントの寸法、mm		アノード・エンハンサの作用端の寸法		電極間の間隙、mm	焦点空間体積、mm ³
	直径	長さ	曲率半径、mm	面積、mm ²		
0.2	4.0-6.0	5.0	0.25	0.75	2.0-3.0	0.02
0.5	16.0-24.0	8.75	0.45	2.4	7.0-10.5	0.12
1.0	45.0-67.0	9.5	0.73	6.7	36.5-55.0	約0.5
1.5	80.0-120.0	15.25	約1.0	約12.3	≥59	約1.3

10

【0096】

稼働実験でこういったRVD電極間の間隙の制限を守ることで、以下の項目を確実なものとした：

第1に、一体的アノード6の作用表面の曲率中心を、集合的自己収束電子ビームの焦点空間内に命中させること（ターゲット7を使用した場合、その表面の曲率中心も命中させる）、

第2に、RVD電源の各パルス放電後の核変換の効果を明らかにすること。

【0097】

さらに、表1に列挙されたパラメータに従うと、アノード6の作用端の表面電流密度を $10^6 \text{ A/cm}^2 \sim 10^8 \text{ A/cm}^2$ の範囲内に固定することが可能になった。このパラメータは、爆縮実験の大半で $10^6 \text{ A/cm}^2 \sim 10^7 \text{ A/cm}^2$ の範囲内に維持された。

20

【0098】

全ての稼働実験の結果はかなりばらつきのないものに見えた。すなわち、様々な元素（軽元素も重元素も、超重元素の超ウランでも）の、実質的に安定した同位体からなる幅広いスペクトルの核変換生成物質が、最初の材料の一部（平均約30重量%）から出現した。

これらの生成物質および一体的アノード6（および挿入されたターゲット7）の化学的に変化しない残りは、爆縮空間から主にプラズマ・カソードと反対側の方向に飛び出し、様々な形状および大きさの水滴形の凝集物として、RVDの真空チャンバの壁および/または該当する場合はシールド8上に析出した。

30

【0099】

この生成物質が研究を行うために採取された。

元素および同位体の組成を後で調査することを目的として（場合によっては、かかる凝集物の形状を記録するため）、核変換生成物質の分離された凝集物を検出し、その物質の表面上（具体的にはシールド8）の位置を判定するために、電子線マイクロプローブ・アナライザREMMA-102、TeslaおよびCamecaが使用された。上記生成物質の元素および同位体の組成調査には、JEOJ社製オージェ分光計Jamp10Sモデル、飛行時間法パルス・レーザ質量分析計（キエフ国立T.G.Shevchenko大学（ウクライナ）設計）、イオン・マイクロプローブ・アナライザCAMECA社製IMS-4fおよびFINNIGAN社製高感度質量分析計VG9000が使用された。

40

【0100】

一体的アノード6を超高密度状態にする爆縮に関する全ての稼働実験の結果として、その初期組成（各回ごとに全ターゲットに対して実質的に1つの元素）と、核変換生成物質の元素および同位体組成との間に基本的な相違点が観察された。

【0101】

このことを確かめるために、図8～図13を観察されたい。垂直の破線は初期元素の原子核の電荷を示す。

【0102】

ターゲットの初期材料内に存在していなかったが核変換生成物質として生成された元素

50

の同位体が図 8、10、12 に示されていることに留意されたい。ここで、高密度核反応プロセスの上記生成物質の濃度は白抜き丸、地殻の濃度は黒い四角で示される。

【0103】

これら同位体の核の電荷および重量パーセンテージはそれぞれ、X 軸および Y 軸上の数値データを使用して容易に判定できる。

【0104】

図 9、11、13 には、以下の式で計算された、特定元素の濃度（重量％）の天然存在比からの相対偏差 Y が、白抜き三角と隣り合った元素記号を使用して示されている。

$$(A - B) / (A + B) = Y$$

ここで A は、特定の元素の核変換生成物質における特定の同位体の比、B は、A と同じ元素の地殻における同じ同位体の比である。

【0105】

図 8、10、12 からはっきり分かるように、最初は銅、タンタル、および鉛であった核変換プロセスで、親元素の原子核電荷と比較して Z（原子核電荷）がより小さい、より大きい、様々な元素の同位体の幅広いスペクトルが現れている。

【0106】

ただし、ターゲット材料の原子核電荷が大きくなるほど、250 u（原子質量単位）より大きい（一部の要チェック事例では、600 u 以上に至る）原子質量を有する安定した超ウラン（まだ特定されていないものも含む）の生成確率が高くなる。

【0107】

かかる質量を有する原子の存在は、最初にイオン質量分析法で検出され、次いで、周知のラザフォードアルファおよびプロトン後方散乱法で証明された。

【0108】

さらに、図 9、11、13 にはっきり示されている核変換生成物質における大部分の元素の濃度が、統計的に信頼性のある形でその地殻における通常濃度を上回った（3 倍超、一部の元素は 5 ~ 10 倍以上）（Y 値範囲 0.5 ~ 1.0 内の濃い色で印をつけた領域を参照）。これにより、高密度核反応プロセスのかかる生成物質が人工起源であることが明らかに証明される。

【0109】

元素および同位体の組成変化については、放射性コバルトからなるターゲットによる実験でやはり同様の結果が得られた。ただしこの事例では、ターゲットの焦点空間にあった部分において、コバルトの放射性原子核がその他の元素の非放射性同位体に核変換されたことにより、拡散したターゲットの生成物質の放射能が低減されたことに、主として関心が向けられた。

【0110】

この低減量は基本的にサンプルごとに異なる。この相違は、アノードのキャビティ内壁と挿入されたターゲット 7 の材料との間の音波の接触密度の差で説明できる（表 2 の履歴簿データを参照）。

【0111】

拡散したコバルト・ターゲットの生成物質の放射能低減量

【表 2】

表 2

サンプル番号	ガンマ放射能の低減、%	サンプル番号	ガンマ放射能の低減、%	サンプル番号	ガンマ放射能の低減、%
2397	47.6	2479	2.2	2588	46.5
2398	10.7	2481	22.8	2600	33.3
2425	21.6	2534	29.5	2769	28.9
2426	17.0	2558	22.9	2770	36.4

【0112】

したがって、サンプルNo. 2479は2.2%だけしか不活性化されなかったが、サンプルNo. 2397およびNo. 2588は、核変換の結果における放射能低下が45%を上回った。

【0113】

さらに、はっきり立証されたように、高密度核反応プロセスの生成物質において検出された各元素の原子集合の同位体分布は基本的に、地殻における同じ同位体の分布と異なる。

【0114】

かかる大きな相違の最も顕著な例は、天然のサンプルにおけるニッケルの通常同位体分布(図14)と、銅ターゲットの核変換によって生じた2つのニッケル原子の凝集物の同位体分布(図15および16)との差である。したがって、天然ニッケル塊におけるNi⁵⁸同位体の含有率は最大70%であるが、銅核変換の生成物質におけるNi⁵⁸の比率は10%強である(Cu⁶³同位体が、ターゲットにおいて最も大きな部分を占める)。同様に、Ni⁶⁰同位体の含有率は基本的に低下した(通常は2倍)が、Ni⁶²の含有率は急上昇した。

【0115】

そして、最終的には、はっきりと本発明による方法で物質を超高密度状態まで爆縮したことを示すものは、RVD焦点空間からの排出物であるかなり大きな物体である。この物体は、上記空間における少なくとも電子-原子核プラズマ、さらには電子-核子プラズマを短期間生じさせるための必要条件が揃っていたことを視覚的に立証する形状をしている。

【0116】

したがって、図17に、銅シールド地の上に、珪素同位体と銅同位体の混合物が含まれた93重量%のFeを含む、基本的に鉄の半球体が示されている。

【0117】

明らかに、この半球体は、銅アノード6の大部分から形成された球体の断片である(本出願人の履歴簿によれば、サンプル番号4908)。この半球体は、外側直径が約95μmであり、直径約35μmの実質的に同心の球状キャビティを有する。この半球体の環端面の大部分におけるきめの粗さは、初期球体が劈開したことによって説明することができる。

【0118】

サンプル番号4908による実験では、電子ビームの焦点空間の中心が、ターゲット曲率の中心と実質的に一致したと容易に推定することができる。この事例では、孤立波状の高密度インパルスが、この開示された生成物質内の球状キャビティとして示されている空間に収束していたのである。

【産業上の利用可能性】

【0119】

衝撃によって物質を圧縮する本装置は、商業的に利用可能な構成部品を使用して製造することができ、本発明による方法は、非常に効率的かつ環境的に安全な以下の技術を開発し、実装するための基礎になる可能性がある：

第1に、安定した超ウランを合成するための技術。超ウランの合成は、その性質についての知識を広げるために非常に重要である。

第2に、既知の元素の安定した同位体を実験的に生成するためと、長寿命の放射性同位体を含めた放射性物質(核燃料廃棄物含)を中性化するための目的で、既知の元素の核を核変換するための技術。

第3に、自然界に広く分布する元素およびその混合物を燃料として使用するICFのための技術。

【図面の簡単な説明】

【0120】

【図1】RVD内にある電極の構造的配置図である(調節可能な幾何パラメータが示され

10

20

30

40

50

ている)。

【図2】パルス高電圧電源のブロック図である。

【図3】軸対称プラズマ・カソードの好ましい構造の、対称軸に沿った断面図である。

【図4】平面I V - I Vに沿った、軸対称プラズマ・カソードの後端の図である(導電ロッドの断面を含む)。

【図5】物質を超高密度状態にする爆縮を実証するための、ターゲットとして直接使用される一体的な軸対称アノードの、対称軸に沿った断面図である。

【図6】例えば、選択した元素の長寿命の放射性同位体を、通例その他の元素の安定した同位体に、少なくとも部分的に核変換するなどのように設計された、球状ターゲットが挿入された中空体の軸対称アノードの、対称軸に沿った断面図である。

10

【図7】R V D放電パルスにおける、電圧および電流変化のグラフである。

【図8】化学的に純粋な銅の核変換生成物質における元素の、原子核質量別の絶対的(重量%)分布図である。

【図9】化学的に純粋な銅の核変換生成物質における図8と同じ元素の、原子核質量別の相対的分布図である。

【図10】化学的に純粋なタンタルの核変換生成物質における元素の、原子核質量別の絶対的(重量%)分布図である。

【図11】化学的に純粋なタンタルの核変換生成物質における図10と同じ元素の、原子核質量別の相対的分布図である。

【図12】化学的に純粋な鉛の核変換生成物質における元素の、原子核質量別の絶対的(重量%)分布図である。

20

【図13】化学的に純粋な鉛の核変換生成物質における図12と同じ元素の、原子核質量別の相対的分布図である。

【図14】地殻におけるニッケル同位体の天然存在度と一致する天然ニッケル・サンプルの調査によって得られた、ニッケル同位体の基準質量スペクトル図である。

【図15】一体的銅ターゲット(試料No. 1)の高密度核反応プロセスの結果得られた、銅シールド上の凝集物の1つにおける、ニッケル同位体の相対分布の質量スペクトル図である。

【図16】同シールド上のニッケル原子の別の凝集物の調査で得られた、図15と同じ質量スペクトル図である。

30

【図17】銅シールドに打ち込まれ、イオン・ビームで部分的にエッチングされた球状キャビティを含んだ鉄の半球体の形をしている、物質を超高密度状態になるまで爆縮した生成物質の顕微鏡写真である。

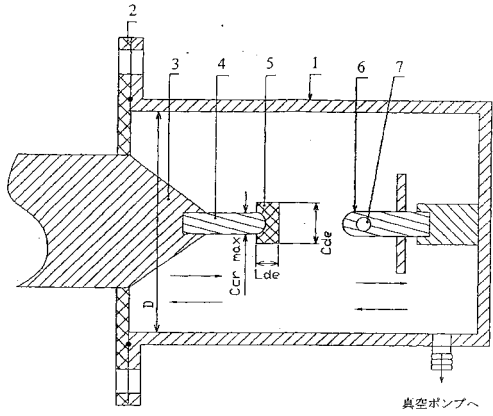
【符号の説明】

【0121】

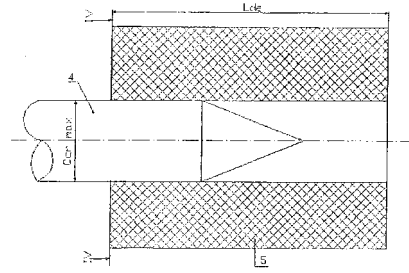
- 1 気密ハウジング
- 2 エンド・カバー
- 3 非消耗型ロッド
- 4 ロッド
- 5 エンド・エレメント
- 6 アノード
- 7 ターゲット
- 8 シールド

40

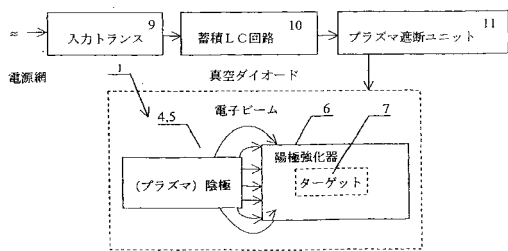
【図1】



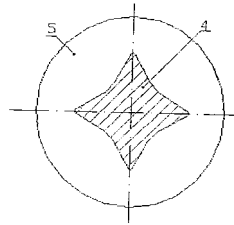
【図3】



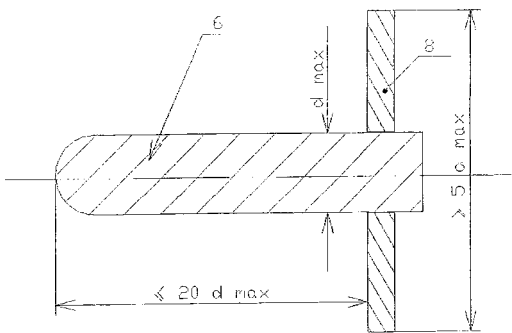
【図2】



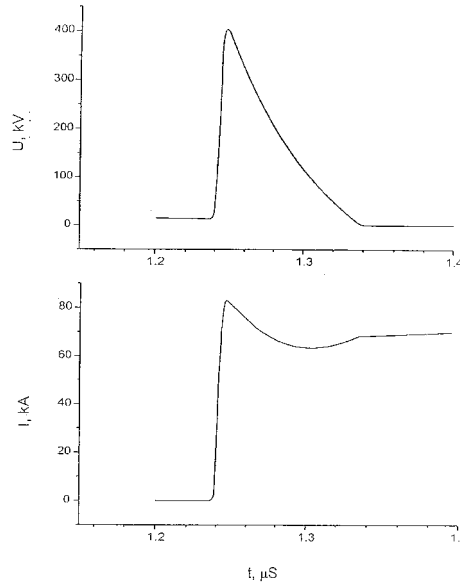
【図4】



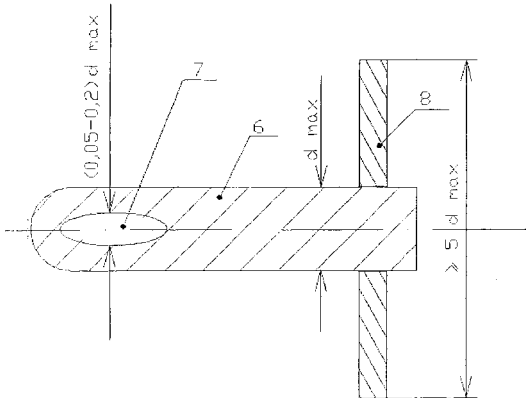
【図5】



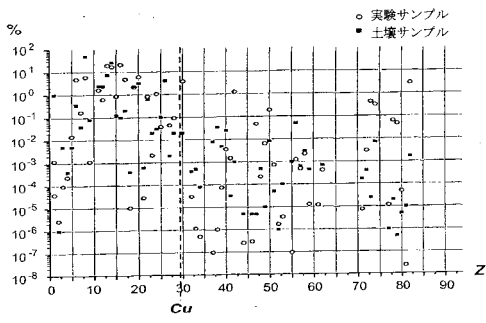
【図7】



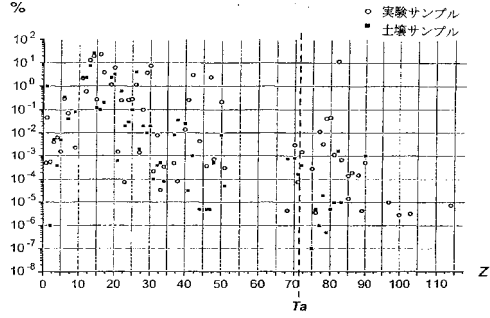
【図6】



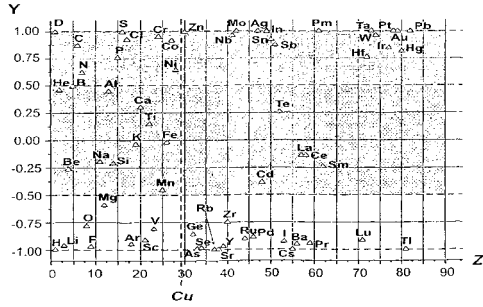
【図 8】



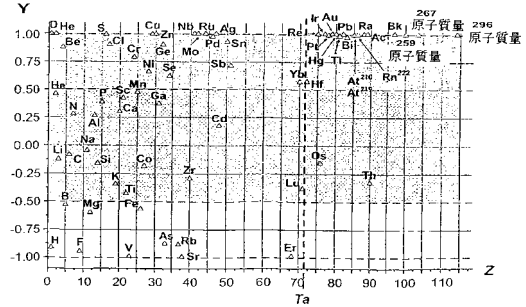
【図 10】



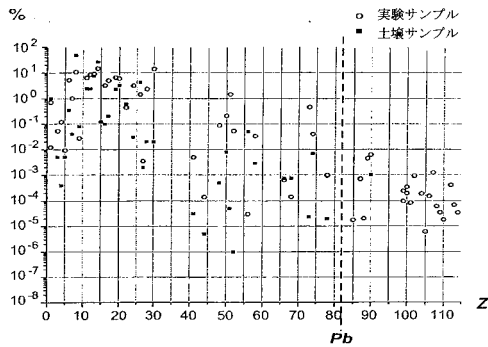
【図 9】



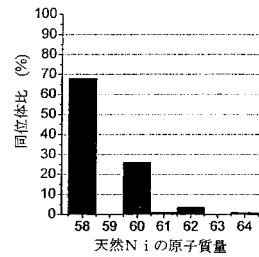
【図 11】



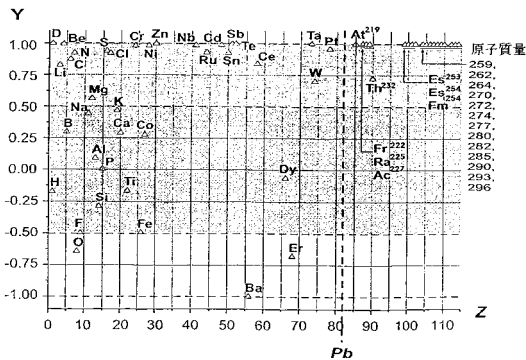
【図 12】



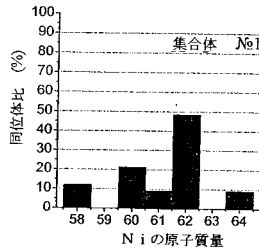
【図 14】



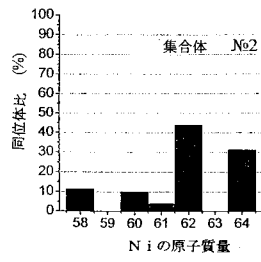
【図 13】



【図 15】



【 図 16 】



【 図 17 】



フロントページの続き

(74)代理人 100078732

弁理士 大谷 保

(74)代理人 100081765

弁理士 東平 正道

(72)発明者 アダメンコ, スタニスラフ ワシレヴィッチ

ウクライナ ワシレンコ ユーエル, 19 - 39, キエフ, 03124

審査官 中塚 直樹

(56)参考文献 国際公開第01/032949(WO, A1)

特開平06-267500(JP, A)

特開平09-288982(JP, A)

特開平03-274488(JP, A)

特表2001-503866(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G21B 1/00

G21G 1/10

G21F 9/00

H05H 1/34