

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5574470号
(P5574470)

(45) 発行日 平成26年8月20日(2014.8.20)

(24) 登録日 平成26年7月11日(2014.7.11)

(51) Int.Cl. F I
H05G 2/00 (2006.01) H05G 2/00 K

請求項の数 2 (全 11 頁)

(21) 出願番号	特願2009-141221 (P2009-141221)	(73) 特許権者	504224153
(22) 出願日	平成21年6月12日 (2009.6.12)		国立大学法人 宮崎大学
(65) 公開番号	特開2010-287479 (P2010-287479A)		宮崎県宮崎市学園木花台西1丁目1番地
(43) 公開日	平成22年12月24日 (2010.12.24)	(74) 代理人	100137752
審査請求日	平成24年6月7日 (2012.6.7)		弁理士 亀井 岳行
(出願人による申告) 平成20年度、経済産業省、地域イノベーション創出研究開発事業、産業技術力強化法第19条の適用を受ける特許出願		(72) 発明者	窪寺 昌一
			宮崎県宮崎市学園木花台西1丁目1番地
			国立大学法人宮崎大学内
		(72) 発明者	加来 昌典
			宮崎県宮崎市学園木花台西1丁目1番地
			国立大学法人宮崎大学内
		審査官	後藤 順也

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 極端紫外光源および極端紫外光発生方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

レーザー光を照射するレーザー光源と、

前記レーザー光源からのレーザー光が照射されて励起され、プラズマを生成して極端紫外光を放射するターゲット材であって、第1の元素と、波長200nm以下の領域において前記第1の元素のスペクトル分布のスペクトル強度が最も強いスペクトル成分を含み且つ最も強いスペクトル成分におけるスペクトル分布の波形の半値全幅よりも広い半値全幅のスペクトル分布を有する第2の元素と、を少なくとも含む多元系の前記ターゲット材と

を備え、

前記ターゲット材は、タングステンカーバイド、銅・タングステン合金、リン青銅、ジユラルミン、ハステロイ(登録商標)C-276およびアドバンスのいずれかにより構成された

ことを特徴とする極端紫外光源。

【請求項2】

第1の元素と、波長200nm以下の領域において前記第1の元素のスペクトル分布のスペクトル強度が最も強いスペクトル成分を含み且つ最も強いスペクトル成分におけるスペクトル分布の波形の半値全幅よりも広い半値全幅のスペクトル分布を有する第2の元素と、を少なくとも含む多元系の前記ターゲット材に対して、レーザー光を照射して励起し、プラズマを生成して、極端紫外光を放射することを特徴とする極端紫外光発生方法であ

って、

前記ターゲット材は、タングステンカーバイド、銅・タングステン合金、リン青銅、ジュラルミン、ハステロイ（登録商標）C-276およびアドバンス、

のいずれかにより構成されたことを特徴とする極端紫外光発生方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、波長が200nm程度以下の紫外光である極端紫外光（EUV：Extreme Ultraviolet）を照射する極端紫外光源および極端紫外光発生方法に関し、特に、固体の金属ターゲットを使用する極端紫外光源および極端紫外光発生方法に関する。

10

【背景技術】

【0002】

従来、単元素の金属ターゲットを使用して、レーザー生成プラズマを生成し、そこから放射される極端紫外光を利用する研究が盛んである。例えば、現在進行中の研究・開発である極端紫外光リソグラフィ光源では、スズ（錫：Sn）を金属ターゲットとして、波長13.5nmの極端紫外光が得られている。

このような極端紫外光源に関して、下記の特許文献1、2が知られている。

【0003】

特許文献1としての特開平5-347195号公報には、複数種類の物質から構成されたターゲット層（3）にレーザーを照射して、プラズマ化することにより、極端紫外光を含むX線を発生させる技術が記載されている。特許文献1記載の技術では、ターゲット層（3）として、特許文献1の図2～図4に示されるようにスペクトル分布において異なる波長（スペクトル成分）でピークを持つ3つの元素（ 、 、 ）が含まれたターゲット層（3）を使用することで、図5に示されるようにスペクトル分布が合成されて、広範な波長域においてほぼ均一な強度を有するX線が得られている。

20

【0004】

特許文献2としての特開平10-208998号公報には、レーザープラズマX線源のターゲットとして、1種類以上の金属を含む複数の元素からなる材料を使用することで、1種類の金属単体の場合と比較して、融点を上昇させ、特定の波長付近でのスペクトルの強度を低下させずに飛散粒子等を低減させる技術が記載されている。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特開平5-347195号公報（「0011」～「0013」、図2～図5）

【特許文献2】特開平10-208998号公報（「0017」～「0019」、「0026」～「0028」、第1図）

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

特許文献1、2記載の発明では、波長域を広げたり、飛散粒子（デブリ）を低減することは可能であっても、発生する極端紫外光の発光効率、発光強度を高めることはできていない。

40

発光効率を高めるためには、従来では、例えば、レーザーを多重パルス化することで、プラズマ温度や密度を制御していたが、レーザーの多重パルス化の制御が必要となり、最適化等で比較的複雑な制御が必要となる問題があった。

【0007】

本発明は、プラズマ温度、密度を簡便に制御して、発光効率を高めることを技術的課題とする。

【課題を解決するための手段】

50

【 0 0 0 8 】

前記技術的課題を解決するために、請求項 1 に記載の発明の極端紫外光源は、
レーザー光を照射するレーザー光源と、

前記レーザー光源からのレーザー光が照射されて励起され、プラズマを生成して極端紫外光を放射するターゲット材であって、第 1 の元素と、波長 2 0 0 n m 以下の領域において前記第 1 の元素のスペクトル分布のスペクトル強度が最も強いスペクトル成分を含み且つ最も強いスペクトル成分におけるスペクトル分布の波形の半値全幅よりも広い半値全幅のスペクトル分布を有する第 2 の元素と、を少なくとも含む多元系の前記ターゲット材と

を備え、

前記ターゲット材は、タングステンカーバイド、銅・タングステン合金、リン青銅、ジュラルミン、ハステロイ（登録商標）C - 2 7 6 およびアドバンスのいずれかにより構成された

ことを特徴とする。

10

【 0 0 0 9 】

前記技術的課題を解決するために、請求項 2 に記載の発明の極端紫外光発生方法は、

第 1 の元素と、波長 2 0 0 n m 以下の領域において前記第 1 の元素のスペクトル分布のスペクトル強度が最も強いスペクトル成分を含み且つ最も強いスペクトル成分におけるスペクトル分布の波形の半値全幅よりも広い半値全幅のスペクトル分布を有する第 2 の元素と、を少なくとも含む多元系の前記ターゲット材に対して、レーザー光を照射して励起し、プラズマを生成して、極端紫外光を放射することを特徴とする極端紫外光発生方法であって、

20

前記ターゲット材は、タングステンカーバイド、銅・タングステン合金、リン青銅、ジュラルミン、ハステロイ（登録商標）C - 2 7 6 およびアドバンス、

のいずれかにより構成されたことを特徴とする。

【発明の効果】

【 0 0 1 0 】

請求項 1、2 記載の発明は、第 1 の元素と第 2 の元素との種類や含有割合を選択することで、プラズマ温度、密度を簡便にシフトさせることができ、発光効率を高めることができ、発光強度を向上させたり、連続的なスペクトル形状を得ることができる。

30

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 1 】

【図 1】図 1 は本発明の実施例 1 の極端紫外光源の説明図である。

【図 2】図 2 は実施例 1 の極端紫外光源において、極端紫外スペクトルを測定するために構築した実験装置の説明図である。

【図 3】図 3 は実験例 1 の実験結果のグラフであり、横軸に波長を取り、縦軸に強度を取ったグラフである。

【図 4】図 4 は実験例 2 の実験結果のグラフであり、横軸に波長を取り、縦軸に強度を取ったグラフである。

【図 5】図 5 は実験例 1 ~ 4 の説明図であり、図 5 A は実験例 1 ~ 4 の合金に含有される主な成分の説明図、図 5 B は実験例 1 ~ 4 の実験結果における支配的なスペクトル形状および発光強度比の説明図である。

40

【発明を実施するための形態】

【 0 0 1 2 】

次に図面を参照しながら、本発明の実施の形態の具体例（実施例）を説明するが、本発明は以下の実施例に限定されるものではない。

なお、以後の説明の理解を容易にするために、図面において、説明に必要な部材以外の図示や説明は省略している。

【実施例 1】

【 0 0 1 3 】

50

図1は本発明の実施例1の極端紫外光源の説明図である。

図1において、実施例1の極端紫外光源1は、内部にプラズマ発生室2aが形成された真空チャンバ2を有する。前記真空チャンバ2内にはターゲットホルダ3を介して固体のターゲット材Tが支持されている。実施例1のターゲット材Tは、第1の元素と、波長200nm以下の領域において前記第1の元素のスペクトル分布のスペクトル強度が最も強いスペクトル成分を含み且つ最も強いスペクトル成分におけるスペクトル分布の波形の半値全幅よりも広い半値全幅のスペクトル分布を有する第2の元素とを少なくとも含む多元系のターゲット材により構成されている。特に、複数の元素を含む多元系合金を好適に使用可能である。

また、真空チャンバ2には、真空ポンプ4が接続されており、真空チャンバ2内のガスが排気される。

【0014】

前記真空チャンバ2には、レーザー導入口2bと光導出口2cが形成されている。レーザー導入口2bには、真空チャンバ2外部に配置されたプラズマ生成用のレーザー光源装置6からのレーザー光6aが、複数の反射光学系7、8、9を介し、集光光学系10で集光されて、プラズマ発生室2a内に導入され、ターゲットTに照射される。

ターゲットTにレーザー光6aが照射されると、ターゲット材Tが励起されてプラズマ化し、プラズマからターゲット材Tの元素に応じた波長の極端紫外光11が発生する。なお、実施例1のターゲットホルダ3は回転軸3aを中心に回転可能に支持されており、レーザー光6aの照射中に回転させることで、レーザー光6aが同一の表面に照射されず、ターゲット材Tの新しい面にレーザー光6aが照射される。

発生した極端紫外光11は、光導出口2cを通じて、外部に配置された図示しない被照射物に照射される。

【0015】

(実験例)

図2は実施例1の極端紫外光源において、極端紫外スペクトルを測定するために構築した実験装置の説明図である。

図2において、実験装置21では、実施例1の極端紫外光源1の光導出口2cに中空の連結部22の一端が接続されており、連結部22の他端には、光検出部23が連結されている。光検出部23の内部には、連結部22を通じて導入される極端紫外光11を絞るスリット24と、スリット24を通過した極端紫外光11を分光する分光器26と、分光器26で分光された光を絞るスリット27とが支持されている。

前記光検出部23の外部には、スリット27を通過した光を可視化するシンチレータ28が支持されており、シンチレータ28からの蛍光は光電子増倍管(PMT: Photomultiplier tube)29で検出される。光電子増倍管29には、バイアス印加用の高圧電源31と、光電子増倍管29からの検出信号が入力されるオシロスコープ32とが接続されている。

【0016】

実験例では、真空ポンプ4として、スクロールポンプとターボ分子ポンプを使用して、真空チャンバ2a内を 5×10^{-3} [Pa]程度に排気した。

また、レーザー光源装置6として、波長1064[nm]でパルス幅10[ns]のパルスを、繰り返し周波数10[Hz]で出力するNd:YAGレーザーを使用した。なお、ダブルパルス照射を行うことも可能であり、この場合は、もう1台のNd:YAGレーザーから532nmの第2高調波をプレパルスとして使用し、2台のNd:YAGレーザーをパルスジェネレータによって、同期させて、メインパルスをプレパルスに対して任意の遅延時間を与えて照射することができる。

【0017】

集光光学系10としては、焦点距離 $f = 15$ [cm]の平凸レンズを使用しており、ターゲット材Tの表面で、レーザー光6aの集光径が30[μm]、集光強度が 10^{12} [W/cm²]程度であった。

10

20

30

40

50

光検出部 23 では、分光器 26 を波長 1 [nm] 毎に波長掃引し、オシロスコープ 32 で 8 回平均して測定を行った。

【 0018 】

(実験例 1)

実験例 1 では、第 1 の元素としてのカーボン (C) を 20 [質量%]、銅 (Cu) を 6 [質量%] 含有し、第 2 の元素としてのタングステン (W) を 74 [質量%] 含むタングステンカーバイド (WC) をターゲット材 T として使用した。また、比較のために、カーボンのみで構成されたターゲットと、タングステンのみで構成されたターゲットについても実験を行った。

実験例 1 の結果を図 3 に示す。

10

【 0019 】

図 3 は実験例 1 の実験結果のグラフであり、横軸に波長を取り、縦軸に強度を取ったグラフである。

なお、図 3 では、タングステンカーバイドの実験結果であるスペクトル分布を実線で記載し、カーボンのみでターゲットで実験を行った結果のスペクトル分布を一点鎖線、タングステンのみでターゲットで実験を行った結果のスペクトル分布を破線で示す。

図 3 からわかるように、波長 158 nm (強度の最大値を有するピーク : 最も強いスペクトル成分) や、波長 170 nm あたりに比較的鋭いピークを有する第 1 元素としてのカーボンのスペクトル分布に対して、第 2 元素としてのタングステンでは、カーボンのスペクトル分布の最大のピークの波長 158 nm を含む波長 145 nm ~ 200 nm 程度の範囲の波長域においてカーボンの最大スペクトル成分を含み、且つカーボンのスペクトル分布よりもなだらかなピーク、すなわち、ピークの半値全幅が広いスペクトル分布を有することがわかる。

20

【 0020 】

そして、図 3 の実線では、タングステンカーバイドの合金をターゲット材として使用した場合に、2 つの各原子のスペクトル分布が単純に足し合わされたものとは異なるスペクトル分布が観測されている。図 3 のタングステンカーバイドのスペクトル分布からわかるように、スペクトル分布の形状はタングステンのそれに近くなり、発光強度もタングステン単独の場合よりも増加している。このときの発光強度 (40 nm から 200 nm での積分強度) を比較すると、タングステンカーバイドは、タングステン単体の場合の 1.6 倍程度であった。

30

すなわち、図 3 の実験結果から、スペクトル分布の形状がタングステンと同様であることから、タングステンプラズマからの発光が支配的であると考えられる。また、発光強度は測定波長全域にわたり均一に増加していることがわかる。これは、合金のプラズマ中のカーボンプラズマによってタングステンプラズマの温度がこの波長域の発光に適したプラズマ温度にシフトしたためだと考えられる。

【 0021 】

(実験例 2)

実験例 2 では、第 1 の元素としての銅 (Cu) を 30 [質量%] 含有し、第 2 の元素としてのタングステン (W) を 70 [質量%] 含む市販の銅・タングステン合金 (Cu30 - W70) をターゲット材 T として使用した。また、比較のために、銅のみで構成されたターゲットと、タングステンのみで構成されたターゲットについても実験を行った。

40

実験例 2 の結果を図 4 に示す。

【 0022 】

図 4 は実験例 2 の実験結果のグラフであり、横軸に波長を取り、縦軸に強度を取ったグラフである。

なお、図 4 では、銅・タングステン合金の実験結果であるスペクトル分布を実線で記載し、銅のみでターゲットで実験を行った結果のスペクトル分布を一点鎖線、タングステンのみでターゲットで実験を行った結果のスペクトル分布を破線で示す。

図 4 からわかるように、波長 165 nm ~ 175 nm あたりに比較的鋭いピークを有す

50

る第1元素としての銅のスペクトル分布に対して、第2元素としてのタングステンでは、銅のスペクトル分布のピークの波長を含み且つ銅のスペクトル分布よりもなだらかなピーク、すなわち、ピークの半値全幅広いスペクトル分布を有することがわかる。そして、図4の実線では、銅・タングステン合金をターゲット材として使用した場合に、実験例1と同様に、2つの各原子のスペクトルどうしが足し合わされたものとは異なり、発光強度が増加し、スペクトル分布も広がっている。なお、実験例2では、銅・タングステン合金の発光強度は、タングステン単体の2.0倍であった。実験例1に比べて発光強度の増加の割合が異なるのは、ターゲット材Tに含まれる原子によって、プラズマ温度のシフト量が異なっているためだと考えられる。

【0023】

10

図5は実験例1～4の説明図であり、図5Aは実験例1～4の合金に含有される主な成分の説明図、図5Bは実験例1～4の実験結果における支配的なスペクトル形状および発光強度比の説明図である。

(実験例3)

実験例3では、ターゲット材Tとしてリン青銅を使用した。リン青銅は、第1の元素としての錫(Sn)が7.65[質量%]およびリン(P)が0.24[質量%]、鉛(Pb)が0.005[質量%]、以下含有され、第2の元素としての銅(Cu)が残りの割合含有されると共に、不可避の不純物が含まれている。

(実験例4)

実験例4では、ターゲット材Tとして真鍮を使用した。真鍮は、第2の元素としての銅(Cu)が60.67[質量%]含有され、鉄(Fe)が0.003[質量%]、鉛(Pb)が0.002[質量%]含有されると共に、第1の元素としての亜鉛(Zn)が残りの割合含有され、不可避の不純物が含まれている。

20

【0024】

図5Bにおいて、実験例3、4のスペクトル分布については、各元素毎にピークの位置(波長)や半値全幅等で差異はあるが、スペクトル形状の関係は図3、図4と同様の結果が得られたため、簡略化のため図示は省略し、図5Bに発光強度の比のみを一覧表で示す。

図5Bにおいて、実験例3、4では、実験例1、2と同様に、発光強度が増加し、スペクトル形状は、第2の元素と同様に広がった。すなわち、合金プラズマ中のプラズマ温度のシフトが発生し、発光強度が向上したものと考えられる。

30

特に、実験例1、2と同様に1.6倍以上の強度の向上は、実験例3、4に示すように、銅と同様なスペクトル形状を有する真鍮とリン青銅の場合にも観測された。

【0025】

したがって、実験例1～4の結果からわかるように、実施例1の極端紫外光源1では、ターゲット材Tの含有物質(特に、第1の元素)を選択すること、すなわち合金化することで、レーザー光源6の制御のような能動的なプラズマ温度の制御ではなく、含有物質や割合を変化させるといった受動的なプラズマ温度の制御が可能であり、受動的なプラズマ温度の制御により、波長200nm以下の極端紫外光の発光強度を増加できることが確認された。

40

よって、ターゲット材Tとして合金を用いることにより、プラズマ状態を変化させ、極端紫外光のスペクトル形状ならびにその強度を制御することができた。

したがって、合金化することで、各元素単体のターゲットでは得られないプラズマ温度を得ることができ、このプラズマ温度のシフトにより、各元素単体の場合に比べて発光強度を増加させることができ、スペクトル形状の連続化が実現できた。そして、実施例1では、レーザー光源6として多重パルスを使用して能動的なプラズマ制御をしなくても、簡便にプラズマ温度を変動させることができる。

【0026】

(変更例)

以上、本発明の実施例を詳述したが、本発明は、前記実施例に限定されるものではなく

50

、特許請求の範囲に記載された本発明の要旨の範囲内で、種々の変更を行うことが可能である。本発明の変更例（H01）～（H02）を下記に例示する。

（H01）本発明の極端紫外光源 1 は、半導体製造分野における極端紫外光を利用する微細加工や表面改質等や、極端紫外光を使用した分析、計測の分野において利用することが可能である。

【0027】

（H02）前記実施例において、具体的な材料、数値等は例示したものに限定されず、装置の設計や仕様、コスト、使用目的等に応じて、任意に変更可能である。例えば、使用するターゲット材として、実験例 1～4 に例示した合金に限定されず、ジュラルミン（Al、Cu、Mg 等含有）やハステロイ C - 276（Ni、Cr、Mo、Fe、W、Co 等含有）、アドバンス（Ni、Cu 含有）、ジルカロイ No. 4（Zr、Sn、Fe 等含有）を使用することも可能であり、これらの場合も、発光強度比の差はあるが、同様の傾向が確認された。

10

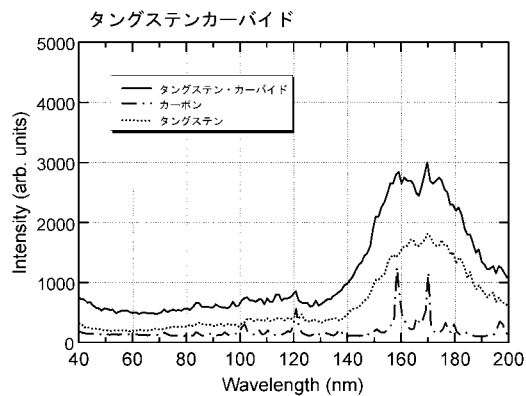
【符号の説明】

【0028】

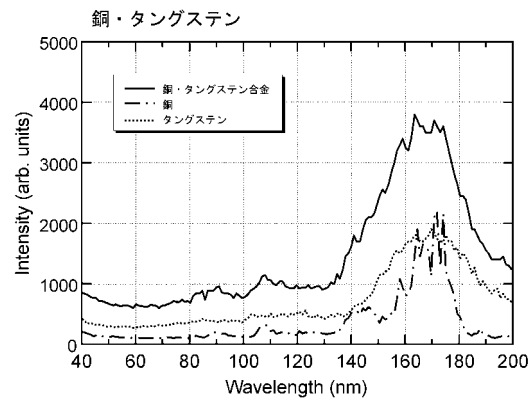
- 1 ... 極端紫外光源、
- 6 a ... レーザー光、
- 6 ... レーザー光源、
- 1 1 ... 極端紫外光、
- T ... ターゲット材。

20

【図 3】



【図 4】



【 図 5 】

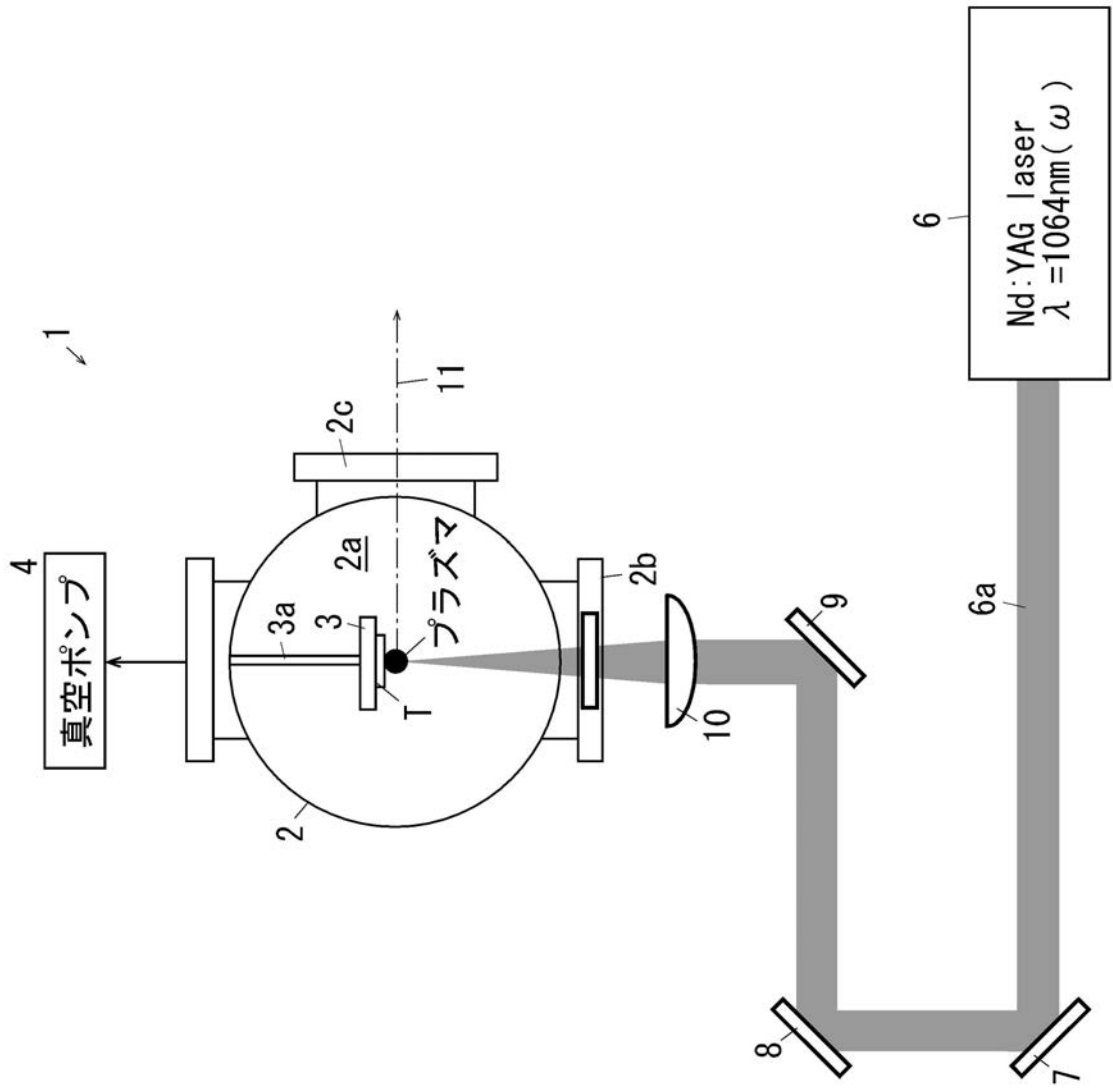
(図 5 A)

	合金名	主な含有成分
実験例 1	タングステンカーバイド	W, C
実験例 2	銅・タングステン合金	Cu, W
実験例 3	リン青銅	Cu, Sn, P 等
実験例 4	真鍮	Cu, Zn 等

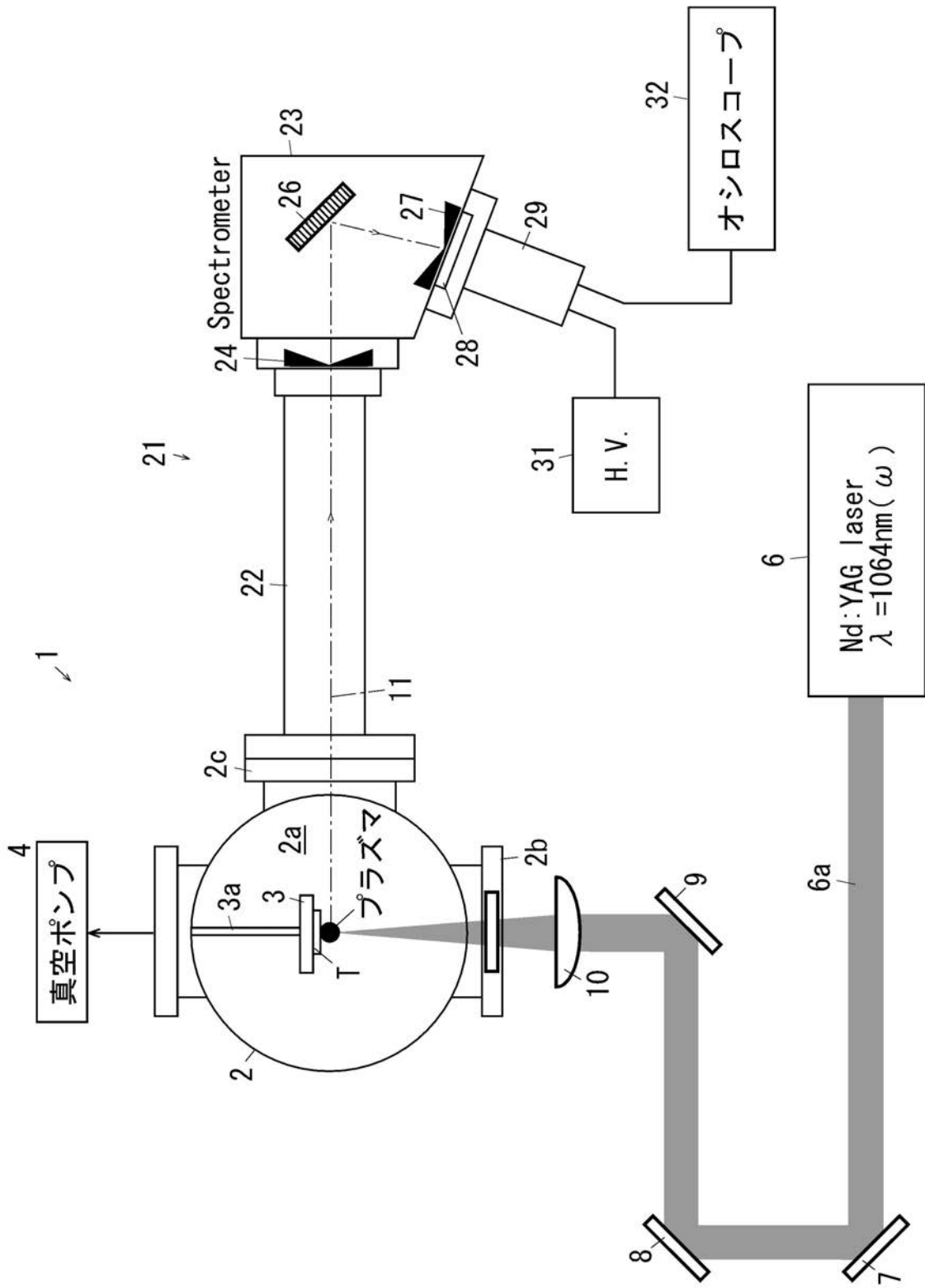
(図 5 B)

	合金名称	スペクトル形状	発光強度の比
実験例 1	タングステンカーバイド	タングステン	1.6 倍
実験例 2	銅・タングステン合金	タングステン	2.0 倍
実験例 3	リン青銅	銅	1.6 倍
実験例 4	真鍮	銅	2.2 倍

【図1】



【図2】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2006-085940(JP,A)
特開2006-013033(JP,A)
特表2003-513418(JP,A)
米国特許出願公開第2009/0052625(US,A1)
米国特許出願公開第2007/0069159(US,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H05G 1/00 - 2/00