

明 細 書

発明の名称：オゾン発生装置

関連出願の引用

- [0001] 本出願は、2012年3月16日に出願した先行する日本国特許出願第2012-059696号による優先権の利益に基礎をおき、かつ、その利益を求めており、その内容全体が引用によりここに包含される。

技術分野

- [0002] 本発明の実施形態は、オゾン発生装置に関する。

背景技術

- [0003] 一般的なオゾン発生装置は、気密容器内に配置された誘電体電極と金属電極とを備え、誘電体電極と金属電極との間には放電ギャップを形成するためのリング状のスペーサが挿入されている。ここで、誘電体電極の内周面には導電膜が設けられている。
- [0004] このようなオゾン発生装置において、ガス入口から気密容器内に導入された原料ガスは、誘電体電極と金属電極との間の放電ギャップを流れ、ガス出口から流出する。
- [0005] 原料ガスの導入と並行して誘電体電極と金属電極との間に交流高電圧を印加すると、放電ギャップに誘電体バリア放電が形成され、オゾンが発生する。なお、誘電体バリア放電は単にバリア放電、あるいは無声放電と呼ばれることもある。
- [0006] この誘電体バリア放電で発生する熱は、金属電極と気密容器とで形成された冷却水流路内に供給される冷却水により冷却される。これにより、放電ギャップ内のガスの温度上昇が抑制され、オゾンが効率的に得られる。

先行技術文献

特許文献

- [0007] 特許文献1：日本国公開特許公報・特開平10-182109号

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0008] 従来の一般的なオゾン発生装置では、放電ギャップ長 d は $0.6\text{ mm} \sim 1.3\text{ mm}$ とされ、また原料ガスである空気のガス圧 p は $0.17 \sim 0.28\text{ MPa}$ (絶対圧) とされていた。

[0009] 原料ガスのガス圧 p と放電ギャップ長 d との積は、一般に $p d$ 積と呼ばれている。この $p d$ 積を一定にすることで、放電の相似則が成立する。これは、 $p d$ 積が放電ギャップ中のガス分子数を表すためである。

[0010] 放電ギャップ中を走行する電子の増倍は、ガスの電離係数 α と放電ギャップ長 d の積で表され、 αd 積は、

$$\alpha d = (\alpha / p) (p d)$$

で表される。ここで、 α / p は単一衝突による電離を表し、また $p d$ 積は放電ギャップ中に含まれる分子数を表す。これが、有名な放電開始電圧を与える Paschen の法則が $p d$ 積の関数であることの理由です。

[0011] 従来用いられてきた放電ギャップ長 d は 0.6 mm 以上の領域にある。この領域では、オゾン発生効率に対する $p d$ 積の最適値は $20\text{ kPa} \cdot \text{cm}$ 近くの一定値であり、またオゾン発生効率のより一層の向上は困難であった。

[0012] 本発明の目的は、より高いオゾン発生効率を達成することが可能なオゾン発生装置を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0013] 実施形態のオゾン発生装置は、円筒状の第 1 電極と、第 1 電極に同軸に配置され、かつ第 1 電極内に配置された円筒状の第 2 電極と、第 1 電極と第 2 電極との間に配置された誘電体と、そして第 1 電極と前記第 2 電極との間に電圧を印加するための電源とを有する。第 1 電極と第 2 電極との間に原料ガスとして乾燥空気が供給されるとともに、第 1 電極と第 2 電極との間に電源から電圧が印加されて放電を発生し、放電によりオゾンが発生する。第 1 電極と第 2 電極及び誘電体によって形成される放電ギャップ長 d が $0.3\text{ mm} \sim 0.5\text{ mm}$ とされている。さらに放電ギャップ長 d と、原料ガスのガス圧 p と、の積である $p d$ 積が $6 \sim 16\text{ kPa} \cdot \text{cm}$ である。そして、放電ギャッ

プ長 d と、原料ガスのガス圧 p とが、次式を満たすように設定されている。

[0014] $(pd - 250d - 3.16)^2 + 150d \leq 12.5$

発明の効果

[0015] 実施形態のオゾン発生装置によれば、より高いオゾン発生効率を達成することができる。

図面の簡単な説明

[0016] [図1]図1は、実施形態のオゾン発生装置の概要構成を説明する図である。

[図2]図2は、実施形態のオゾン発生装置における pd 積とオゾン発生効率の関係を説明する図である。

[図3]図3は、実施形態のオゾン発生装置における pd 積とオゾン発生効率の関係をより詳細に説明する図である。

発明を実施するための形態

[0017] 実施形態を説明する。

実施例

[0018] 図1は、実施形態のオゾン発生装置の概要構成を示す。

[0019] 実施形態のオゾン発生装置10は、誘電体バリア放電式のオゾン発生装置である。大別すると、オゾン発生装置10は、オゾン発生装置本体11と高圧電源13とを備えている。高圧電源13は高圧交流電源であり、ヒューズ12を介してオゾン発生装置本体11に電力を供給する。

[0020] オゾン発生装置本体11は、気密容器15を備えている。気密容器15の一端部には、原料ガスを導入するガス入口16が設けられ、また気密容器15の他端部には未反応の原料ガス及びオゾン (O_3) を排出するガス出口17が設けられている。

[0021] 気密容器15内には、円筒状のステンレス鋼製の金属電極（第1電極）23と円筒状の誘電体電極21が配置されている。金属電極23の両端は気密容器15の内側に気密に接合され、金属電極23と気密容器15は気密領域を構成する。誘電体電極21は金属電極23の内側に配置され、誘電体電極

21の外周面と金属電極23との間に所定の放電ギャップ22が形成されている。なお、放電ギャップ22を形成し、維持するために複数の突起23Aが金属電極23の内周面に形成されている。

[0022] 金属電極23の外周面（背面）に対向する気密容器15の部分には、冷却水を導入する冷却水入口24と冷却水を排出する冷却水出口25とが設けられている。金属電極23と金属電極23の外周面に対向する気密容器15の部分は、冷却水入口24と冷却水出口25との間で冷却水流路26を形成する。

[0023] 誘電体電極21は、円筒状誘電体21Aと導電電極（第2電極）21Bと高圧給電端子21Cとを備えている。円筒状誘電体21Aは、熱膨張係数の小さい石英ガラス等で形成されている。導電電極21Bは、円筒状誘電体21Aの内周面に形成されている。導電電極21Bは円筒状である。高圧給電端子21Cは円筒状誘電体21A内に挿入されて導電電極21Bに接続され、また高圧給電端子21Cはヒューズ12を介して高圧電源13に接続されている。

[0024] 円筒状誘電体21Aは、石英ガラス、ホウケイ酸ガラス、高ケイ酸ガラス、アルミノケイ酸ガラス、セラミックスなどにより形成される。

[0025] 導電電極21Bは、スパッタリング、溶射、蒸着、無電解メッキ、電解メッキ、塗料塗布などの製膜方法により円筒状誘電体21Aの内周面に形成された導電膜である。導電材料としては、金、銀、銅、ステンレス、クロム、錫、亜鉛、ニッケルカーボンあるいはアルミニウムが用いられる。

[0026] 上記構成において、放電ギャップ22の距離に相当する放電ギャップ長 d は、従来の一般的なオゾン発生装置の放電ギャップ長である $0.6\text{ mm} \sim 1\text{ mm}$ よりも短い $0.3\text{ mm} \sim 0.5\text{ mm}$ に設定されている。

[0027] 原料ガスは酸素を含むガスであり、例えば乾燥空気である。原料ガス（空気）の圧力である原料ガス圧 p は、放電ギャップ長 d と原料ガス圧 p との積である $p d$ 積が $6 \sim 16\text{ kPa} \cdot \text{cm}$ となるように設定されている。

[0028] さらに、本実施形態においては、原料ガス圧 p （ kPa ）とギャップ長 d

(c m) は、次式を満たすように設定されている。

$$(p d - 250 d - 3.16)^2 + 150 d \leq 12.5 \quad \dots (1)$$

[0029] 以下、原料ガス圧 p (k p a) とギャップ長 d (c m) をより詳細に説明する。

[0030] 図2は、実施形態のオゾン発生装置における $p d$ 積とオゾン発生効率との関係を説明する。図2において、横軸は $p d$ 積 (k P a · c m) であり、縦軸はオゾン発生効率 ($g / k W h$) である。図2に示す例においては、オゾン濃度が $40 g / N m^3$ であり、電力密度が $3 k W / m^2$ 一定である条件で、放電ギャップ長 d をパラメータとして使用してオゾン発生が行なわれた。

[0031] 図2中、放電ギャップ長 $d = 0.6 mm$ 、 $1.3 mm$ のグラフは、従来のオゾン発生装置による値を参考として表示している。図2から以下のことが分かる。放電ギャップ長 $d = 0.6 mm$ 、 $1.3 mm$ の従来のオゾン発生装置においては、オゾン発生効率に対する $p d$ 積の最適値は約 $20 k P a \cdot c m$ であり、この値は放電ギャップ長 d に依存しない。

[0032] これに対し、従来のオゾン発生装置の放電ギャップ長よりも短い放電ギャップ長 d を有する本実施形態のオゾン発生装置10においては、放電ギャップ長 d が $0.5 mm \rightarrow 0.4 mm \rightarrow 0.3 mm$ と短くなると、オゾン発生効率が上昇しながら、 $p d$ 積が小さい方にシフトする。

[0033] 放電ギャップ長 $d = 0.2 mm$ では、 $p d$ 積の最適値は $7.6 k P a \cdot c m$ まで下がるが、放電ギャップ長 $d = 0.2 mm$ のオゾン発生効率は放電ギャップ長 $d = 0.3 mm$ のオゾン発生効率よりも小さい。

[0034] したがって、図2によれば、以下のことが分かる。高いオゾン発生効率 ($60 g / k W h$ 以上) を得るには、放電ギャップ長 d が $0.3 mm \sim 0.5 mm$ であること、及び放電ギャップ長 d と原料ガスのガス圧 p との積である $p d$ 積が $6 \sim 16 k P a \cdot c m$ であることが必要である。

[0035] また、放電ギャップ長 d 及び $p d$ 積が上記範囲にある場合、オゾン発生効率 η ($g / k W h$) が (2) 式を満たす必要があることが、分かった。

$$\eta = - (p d - 250 d - 3.16)^2 - 150 d + 79.5$$

… (2)

[0036] 最高オゾン発生効率である 75 g/kWh よりも 10% 低いオゾン発生効率は 67 g/kWh である。(2) 式によれば、少なくとも 67 g/kWh のオゾン発生効率を得るためには、

$$67 \leq - (pd - 250d - 3.16)^2 - 150d + 79.5$$

を満たす必要がある。すなわち、原料ガスのガス圧 p (kPa) と放電ギャップ長 d (cm) は、(3) 式を満たす必要がある。

$$(pd - 250d - 3.16)^2 + 150d \leq 12.5$$

… (3)

[0037] 以上の説明のように、本実施形態のオゾン発生装置は、オゾン発生効率が 67 g/kWh 以上の高効率でオゾンを生成できる。

[0038] 図3は、実施形態のオゾン発生装置における pd 積とオゾン発生効率 η の関係をより詳細に説明する。図3は、放電ギャップ長 $d = 0.4 \text{ mm}$ 一定としたときのオゾン発生効率 η を示している。図3中、黒丸印 (●) は実験値、実線は発明者らが開発したオゾン発生シミュレータのシミュレーション結果である。

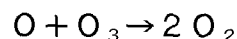
[0039] pd 積が $10 \text{ kPa} \cdot \text{cm}$ より小さい領域では、酸素原子 O と酸素分子 O_2 と中性分子 M の衝突によってオゾン O_3 が生成される、(4) 式で表される3体衝突反応が、オゾンの生成反応の主要因となっている。



… (4)

この領域では、ガス圧が高いほど、高いオゾン発生効率を得られる。

[0040] そして、 pd 積が $10 \text{ kPa} \cdot \text{cm}$ 近辺でオゾン発生効率がほぼ一定となる。さらにガス圧が高くなる、つまり pd 積が高くなると、放電中のフィラメント放電と呼ばれる放電収縮によってガス温度が上昇する。このためオゾン発生効率は飽和から低下する。この反応は (5) 式で示される。



… (5)

そして、温度上昇によって（５）式で表される反応が進み、オゾンが分解されていくこととなる。

[0041] 本実施例のオゾン発生装置１０においては、放電ギャップ長 d が $0.3\text{ mm} \sim 0.5\text{ mm}$ である。この放電ギャップ長 d を精度よく実現させるためには、従来用いていた放電ギャップ（空間）に挿入されるリング状のスペーサを用いることができない。その理由は、スペーサ自身の厚さが $0.1 \sim 0.3\text{ mm}$ あるからである。スペーサが誘電体電極２１の外周面に設けられるとスペーサがガス通過空間を埋めてしまうため、原料ガスが流れず、オゾン発生ができない。

[0042] そこで、図１に示したように、３点以上の突起２３Ａを金属電極２３の内周面の円周上に金属電極２３と一体に形成したり、あるいは、３点以上の突起を誘電体電極２１を構成する円筒状誘電体２１Ａの外周面の円周上に円筒状誘電体２１Ａと一体に形成したりする。これにより、誘電体電極２１を金属電極２３内に精度良く同軸に保持できる。これらの突起は、放電ギャップ長に等しい高さを有する。

[0043] 金属電極２３であるステンレス鋼製のパイプに金属エッジを押し付けて、パイプをつぶすことによって、上述の突起２３Ａは形成される。また、金属電極をパイプの押し出し整形で製造する際、一部に切れ込みを有するダイスを用いることで突起２３Ａを形成することも可能である。これらの場合、突起２３Ａは金属電極２３と同じ材料で形成される。突起２３Ａは、円筒状誘電体２１Ａの外周面に当接する。

[0044] 誘電体電極２１を構成する円筒状誘電体２１Ａの表面に突起を設けるには、円筒状誘電体２１Ａの表面に、円筒状誘電体２１Ａと同じ材料の溶融したガラスを付けばよい。突起は、金属電極２３の内周面に当接する。

[0045] 本実施形態によれば、 $p \cdot d$ 積が従来よりも小さい領域を用いることによって、従来よりも小さい $0.3\text{ mm} \sim 0.5\text{ mm}$ の放電ギャップ長 d が用いられてもガス圧 p を 0.3 MPa よりも小さくできる。この結果、オゾン発生装置１０の気密容器１５（筐体）の厚さを薄くできるため、軽量で安価な高

い効率でオゾンを生産することが可能になる。

[0046] 本実施形態の一例によれば、誘電体電極 21 の導電電極 21 B は、ステンレス鋼をターゲットとして使用するスパッタリング法によって形成される。これによって、オゾン及び放電の副生成物である硝酸が発生しても長期にわたって高圧側電極である誘電体電極 21 の腐食をおさえ、安定したオゾン濃度で高い効率でオゾンを生産できる。また、高圧電極である誘電体電極 21 は、円筒状誘電体 21 A としての円筒ガラスと、円筒ガラスの内周面にニッケルめっきによって形成した導電電極 21 B とによって形成することも可能である。

[0047] ところで、上述したオゾン発生装置 10 では、放電電力密度 W/S は、(6) 式により表すことができる。

$$W/S = C_g \cdot f \cdot 2V^* \{2V_{op} - (1 + C_o/C_g) \cdot 2V^*\} \quad \dots (6)$$

ここで W は電力、 f は電源周波数、 V^* は放電維持電圧、 V_{op} は印加電圧、 C_o は単位面積あたりの放電ギャップの静電容量、 C_g は単位面積当たりのガラスの静電容量である。放電維持電圧 V^* は、(7) 式により表される。

$$V^* = 203pd + 900 - 400 \exp(-pd/6.66) \quad \dots (7)$$

したがって、放電維持電圧 V^* は、 pd 積の関数となる。すなわち、放電維持電圧 V^* は pd 積に比例する。

[0048] 上述したように、従来のオゾン発生装置の放電ギャップ長 $d = 1.3 \text{ mm}$ 、 0.6 mm では、オゾン発生効率に対する pd 積の最適値は $20 \text{ kPa} \cdot \text{cm}$ とほぼ一定であった。しかしながら、実施形態のオゾン発生装置 10 によれば、放電ギャップ長 d を $0.3 \text{ mm} \sim 0.5 \text{ mm}$ に小さくし、また放電ギャップ長 d と原料ガスのガス圧 p との積である pd 積を $6 \sim 16 \text{ kPa} \cdot \text{cm}$ に小さくしている。この pd 積値は従来の pd 積値 ($20 \text{ kPa} \cdot \text{cm}$) の $0.3 \sim 0.8$ 倍である。したがって (7) 式で示される放電維持電圧は最小で従来の放電維持電圧の 0.3 倍となる。

[0049] 本実施形態においても、上述した（６）式で求めることができる放電電力密度 W/S を用いる必要がある。装置容積が放電電力密度 W/S に比例するため、従来装置と同じ冷却容量を用いた場合、従来装置と同一の放電電力密度 W/S 以上とする必要がある。

[0050] そして、放電電力密度 W/S を同量以上、投入するには電源の周波数を従来の 1 kHz より高くする必要がある。具体的には、その周波数の範囲を $1\text{ kHz} \sim 3.5\text{ kHz}$ にすることが必要となる。ここで、一般に電源の周波数を 10 kHz 以上にすると、電源は電波を発生する。しかし、電源の周波数を $1\text{ kHz} \sim 3.5\text{ kHz}$ の範囲内とすることで電源が発生する電波ノイズを抑制でき、またオゾン発生装置は高い効率でオゾンを生成できる。

[0051] そして、例えば、水中で生成されたオゾンガス O_3 のバブリングを行うことにより、オゾン水を形成することが可能である。実施形態にかかるオゾン発生装置１０を用いて形成されたオゾン、あるいはそのオゾンを利用したオゾン水は、例えば水処理技術などに適用され、処理されるべき水の脱臭、脱色、及び殺菌等に使用することができる。

[0052] 本実施形態のオゾン発生装置によれば、原料ガスのガス圧 p （ kPa ）と放電ギャップ長 d （ cm ）が次式を満たすため、オゾン発生装置は高効率でオゾンを生成できる。

$$(pd - 250d - 3.16)^2 + 150d \leq 12.5$$

[0053] また、原料ガスの圧力 p を 0.3 MPa より小さくすることによって軽量で安価な高効率オゾンを生成することが可能になる。

[0054] さらに、高圧電極である誘電体電極２１の導電電極２１Ｂを、導体をターゲットとして使用するスパッタリング法によって円筒ガラスの内周面に形成することによって、安定したオゾン濃度で高い効率でオゾンを生成できる。特に、高圧電極が誘電体電極２１の円筒状誘電体２１Ａの内面にステンレス鋼をターゲットとして使用するスパッタリング法によって形成することによって耐食性に優れ、安定したオゾン濃度で高い効率でオゾンを生成することが可能になる。

- [0055] また、導電電極 2 1 B は、誘電体である円筒ガラスの内周面にめっきで形成された導体であってもよい。特に、導電電極 2 1 B が、誘電体である円筒ガラスの内周面にめっきで形成されたニッケルである場合、耐食性に優れ、安定したオゾン濃度で高い効率でオゾンを生成できる。
- [0056] また、高圧電源 1 3 の周波数を 1 k H z ～ 3 . 5 k H z の範囲内とすることで、高圧電源 1 3 が発生する電波ノイズが本質的に抑制された状態で、オゾン発生装置は高い効率でオゾンを生成できる。
- [0057] 以上、本発明のいくつかの実施形態を説明したが、これらの実施形態は、例として提示したものであり、発明の範囲を限定することは意図していない。これら新規な実施形態は、その他の様々な形態で実施されることが可能であり、発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々の省略、置き換え、変更を行うことができる。これら実施形態やその変形は、発明の範囲や要旨に含まれるとともに、特許請求の範囲に記載された発明とその均等の範囲に含まれる。

符号の説明

- [0058]
- | | |
|-------|-----------|
| 1 0 | オゾン発生装置 |
| 1 1 | オゾン発生装置本体 |
| 1 2 | ヒューズ |
| 1 3 | 高圧電源 |
| 1 5 | 気密容器 |
| 1 6 | ガス入口 |
| 1 7 | ガス出口 |
| 2 1 | 誘電体電極 |
| 2 1 A | 円筒状誘電体 |
| 2 1 B | 導電電極 |
| 2 1 C | 高圧給電端子 |
| 2 2 | 放電ギャップ |
| 2 3 | 金属電極 |
| 2 3 A | 突起 |

- 2 4 冷却水入口
- 2 5 冷却水出口
- 2 6 冷却水流路
- d 放電ギャップ長
- p ガス圧（原料ガス圧）

請求の範囲

[請求項1]

円筒状の第1電極と、
前記第1電極に同軸に配置され、かつ前記第1電極内に配置された円筒状の第2電極と、
前記第1電極と前記第2電極との間に配置された誘電体と、そして前記第1電極と前記第2電極との間に電圧を印加するための電源と

を有し、

前記第1電極と前記第2電極との間に原料ガスとして乾燥空気が供給されるときにも前記第1電極と前記第2電極との間に前記電源から電圧が印加されて放電を発生し、前記放電によりオゾンを発生するオゾン発生装置において、

前記第1電極と前記第2電極及び前記誘電体によって形成される放電ギャップ長dが0.3mm～0.5mmとされ、
前記放電ギャップ長dと、前記原料ガス圧pと、の積であるpd積が6～16kPa・cmであり、
前記放電ギャップ長dと、前記原料ガス圧pとが、次式を満たすように設定されている。

$$(pd-250d-3.16)^2+150d\leq 12.5$$

[請求項2]

前記誘電体は円筒状であることを特徴とする請求項1記載のオゾン発生装置。

[請求項3]

前記第2電極は、前記誘電体の内周面に設けられており、
前記第1電極の内周面に設けられ、前記誘電体の外周面に当接し、
前記第1電極と前記誘電体との間で前記放電ギャップ長dを維持し、
前記第1電極と同一材料で形成された、前記放電ギャップ長dに等しい高さの複数の複数の突起を、さらに有する、

[請求項4]

ことを特徴とする請求項2記載のオゾン発生装置。
前記第2電極は、前記誘電体の内周面に設けられており、

前記誘電体の外周面に設けられ、前記第 1 電極の内周面に当接し、
前記誘電体と前記第 1 電極との間で前記放電ギャップ長 d を維持し、
前記誘電体と同一材料で形成された、前記放電ギャップ長 d に等しい
高さの複数の突起を、さらに有する、

ことを特徴とする請求項 2 記載のオゾン発生装置。

[請求項 5] 前記第 2 電極は、導体をターゲットとして使用するスパッタリング
法によって前記誘電体の内周面に形成された導体である、

ことを特徴とする請求項 2 に記載のオゾン発生装置。

[請求項 6] 前記導体は、ステンレス鋼であることを特徴とする請求項 5 に記載
のオゾン発生装置。

[請求項 7] 前記第 2 電極は、前記誘電体の内周面にめっきで形成された導体で
あることを特徴とする請求項 2 に記載のオゾン発生装置。

[請求項 8] 前記導体は、ニッケルであることを特徴とする請求項 7 に記載のオ
ゾン発生装置。

[請求項 9] 前記原料ガスのガス圧 p が 0.3 MPa より小さく設定されている
ことを特徴とする請求項 1 に記載のオゾン発生装置。

[請求項 10] 前記電源の周波数は $1 \text{ kHz} \sim 3.5 \text{ kHz}$ の範囲内にあることを
特徴とする請求項 1 に記載のオゾン発生装置。