

デバイス製造装置向け排ガス除害装置の開発に成功 ～危険なガスを高効率・省エネに無害化～

ポイント

- エレクトロニクス産業の製造工程で用いる毒性や可燃性がある排ガスの処理には、無害化による大気汚染防止に加え、高い省エネルギー性能も求められている。
- 排ガス処理装置の配管内を減圧することで、可燃性のシランガスを安全に取り扱うための窒素ガス希釈を不要とし、処理に必要なエネルギーを約75パーセント削減した。
- シランガス以外の希釈が必要な可燃性ガスにも利用が容易で、シリコンウェハの水素処理やエピタキシャル成長など水素ガスを使用する製造装置への応用が期待できる。

JST (理事長 濱口 道成) は、研究成果最適展開支援プログラム (A-STEP) 企業主導フェーズ NextTEP-Aタイプの開発課題「減圧プラズマによる高効率除害装置」の開発結果を成功と認定しました。この開発課題は、東京大学 大学院工学系研究科 一木 隆範 教授の研究成果をもとに、平成29年6月から令和2年5月にかけてカンケンテックノ株式会社 (代表取締役社長 今村 啓志、京都府長岡京市神足太田30-2、資本金1千万円) に委託し、同社において企業化開発を進めていたものです。

半導体やフラットパネルディスプレイ、太陽電池などのエレクトロニクス産業の製造工程では、シランガスや水素ガスなど毒性や可燃性を持つ危険なガスを使用します。現在、これらの危険なガスの無害化には、1000度以上に加熱し分解する熱酸化反応が主に利用されています。例えば、半導体の化学気相合成法 (CVD) ^{注1)} プロセスで多用されるシランガスは、空気と触れることで爆発的な反応を起こすため、爆発下限界^{注2)} 以下の濃度となるように大量の窒素ガスで希釈した上で、高温処理し無害化しています。従来は、加熱手段の効率向上や放熱などの無駄なエネルギーを削減する反応炉の構造の開発にとどまり、省エネルギーを実現する抜本的な技術開発が重要な課題となっていました。

本開発では、爆発下限界が可燃性ガスの圧力に依存することに注目し、希釈ガスを削減できる圧力条件を検討してきました。デバイス製造装置のポンプ出口から排ガス処理装置に至る配管内を10キロパスカル程度まで減圧することで爆発下限界を引き上げ、化学反応しない環境を作りました。さらに、排ガスを分解する熱源として、通常は大気圧で発生させるアークプラズマ^{注3)} を、0.1～10キロパスカル程度の減圧状態でも安定して発生させられる最適条件を見いだしました。これにより、減圧状態の排ガス処理装置内にて、アークプラズマ熱源により危険なガスを酸素と熱反応させることで無害化処理を可能としました。CVDプロセスで大量の窒素ガスによる希釈が不要となるため、シランガスの処理では、排ガス処理に必要なエネルギーを最大約75パーセント削減できました。

本開発の除害装置は、シランガス以外の窒素ガス希釈が必要な可燃性ガスを含む排ガスにも、処理条件を最適化することで装置の構成を変えずに容易に適用できます。シリコンウェハの水素処理やエピタキシャル成長^{注4)}、有機膜のアッシング^{注5)} など水素を使用する製造装置への応用が期待できます。

研究成果最適展開支援プログラム (A-STEP) は大学、公的研究機関などで生まれた研究成果を国民経済上重要な技術として実用化し社会に還元することを目指す技術移転支援プログラムです。企業主導フェーズでは、大学などの研究シーズを用いて企業などが行う、開発リスクを伴う規模の大きい開発を支援し、実用化を後押しします。

※A-STEP企業主導フェーズ (NextTEP-Bタイプ/NextTEP-Aタイプ) は、令和2年度より「A-STEP企業主体 (マッチングファンド型/返済型)」として公募しています。

URL <https://www.jst.go.jp/a-step/>

<背景>

半導体やフラットパネルディスプレイ、太陽電池などを製造するエレクトロニクス電子産業では、毒性や可燃性を持った危険なガスを使用しますが、危険なガスは、環境や人体に対する悪影響のない物質に変えて排出しなければなりません。現在、これらの危険なガスを無害化するには、1000度以上に加熱し分解する熱酸化反応が多く利用されています。排ガス処理で消費されるエネルギーの大部分は、この排ガス加熱に使われており、排ガス量が増えると消費エネルギーも増加します。

例えば、半導体のCVDプロセスで多用されるシランガス（ SiH_4 ）は、爆発下限界の1.3パーセント以上の濃度では空気に触れて爆発的な反応を起こすため、窒素ガスで75倍以上に希釈することにより爆発を防いでいます。このため排ガス処理時には、大量のガスを高温に加熱することとなります。

窒素ガスによる希釈を伴う従来の排ガス処理方法では、効率良く加熱する手段の開発や放熱を抑えて無駄なエネルギーを削減する反応炉の構造開発を進めるにとどまり、省エネルギーを実現する抜本的な技術開発が重要な課題となっていました。

<開発内容>

本開発では、爆発下限界が可燃性ガスの圧力に依存することに注目し、希釈ガス量を削減できる圧力条件を検討しました。しかし爆発下限界の圧力依存性データは一般に公開されているものがほとんどなく、水素と空気の反応を高圧側で調べた例がわずかにある程度でした。そこで開発企業ではさまざまなガスについて独自にデータの取得を積み重ねてきました。

従来の除害装置では、デバイス製造装置のポンプ出口で窒素ガスによる希釈が行われ、除害装置への移送配管内を含め安全を確保し、大気圧下で高温加熱処理して無害化していました（図1）。本開発で製作した除害装置は、製造装置のポンプ出口から排ガス処理装置内までを真空ポンプで10キロパスカル程度に減圧することにより、配管内のガスの爆発下限界を上げて化学反応をしない環境を作り出し、窒素ガス希釈を不要にすることに成功しました（図2、図3）。製造装置から排出された危険なガスを含む排ガスは、減圧状態で除害装置まで輸送されてプラズマ式反応炉に入ります。危険なガスが流れる部分は化学反応が生じない程度まで減圧されているので窒素ガス希釈の必要がなくなっています。

さらに、排ガスを分解する熱源として、通常は大気圧で発生させるアークプラズマを、0.1～10キロパスカル程度の減圧状態でも安定して発生させられる最適条件を見いだしました。これにより、減圧状態の排ガス処理装置内にて、アークプラズマ熱源により危険なガスを酸素と熱反応させることで無害化処理を可能としました。また、実際の排ガス処理では問題となる、無害化処理で発生する副生成物が反応炉内壁に付着することを防止するため、反応炉内に水洗浄する仕組みを取り入れました。

<期待される効果>

本開発の除害装置により、エレクトロニクス産業の製造プロセスで大量に使われる窒素ガスを大幅に削減することができます。特にシランガスを用いたCVDプロセスでは窒素ガスによる希釈が不要となります。加えて除害装置に流れ込むガスの総流量も50分の1～100分の1程度になるため排ガス処理のエネルギーの消費を約75パーセント削減できます。昨今、大型化するウェハーサイズやディスプレイサイズでは、より多量のシラン系ガスを使用するため、削減できる窒素ガス量が膨大になるとコストおよびエネルギーの

削減効果は極めて大きくなります。

また、この技術はシランガス以外の窒素ガス希釈を必要とする可燃性ガスにも、処理条件を最適化することで装置の構成を変えずに容易に適用できます。例えば、シリコンウェハーの水素処理装置やエピタキシャル成長装置、有機膜のアッシング装置など水素を使用する製造装置へのさらなる応用が期待できます。

<参考図>

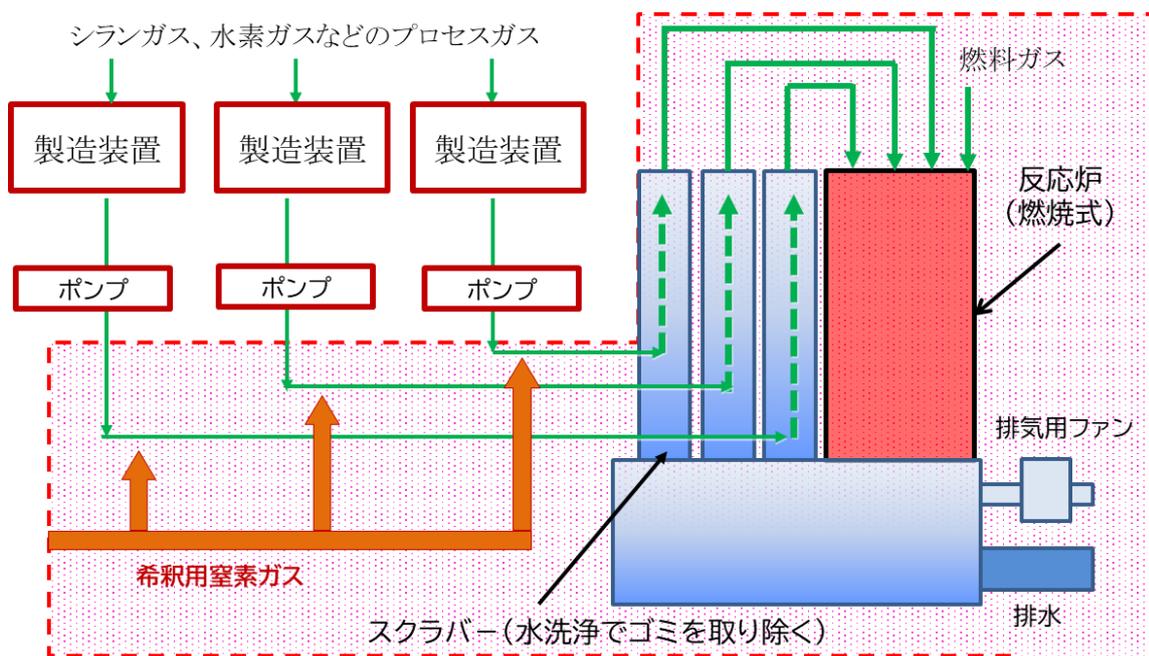


図1 従来の大気圧除害装置の構成例

従来の除害装置では、デバイス製造装置のポンプ出口で窒素ガスによる希釈が行われ、除害装置への移送配管内を含め安全を確保し、大気圧下で高温加熱処理して無害化していた。赤点線枠内が大気圧（100キロパスカル以下）になっている。反応炉には燃焼式以外にもヒーター式やプラズマ式などがある。

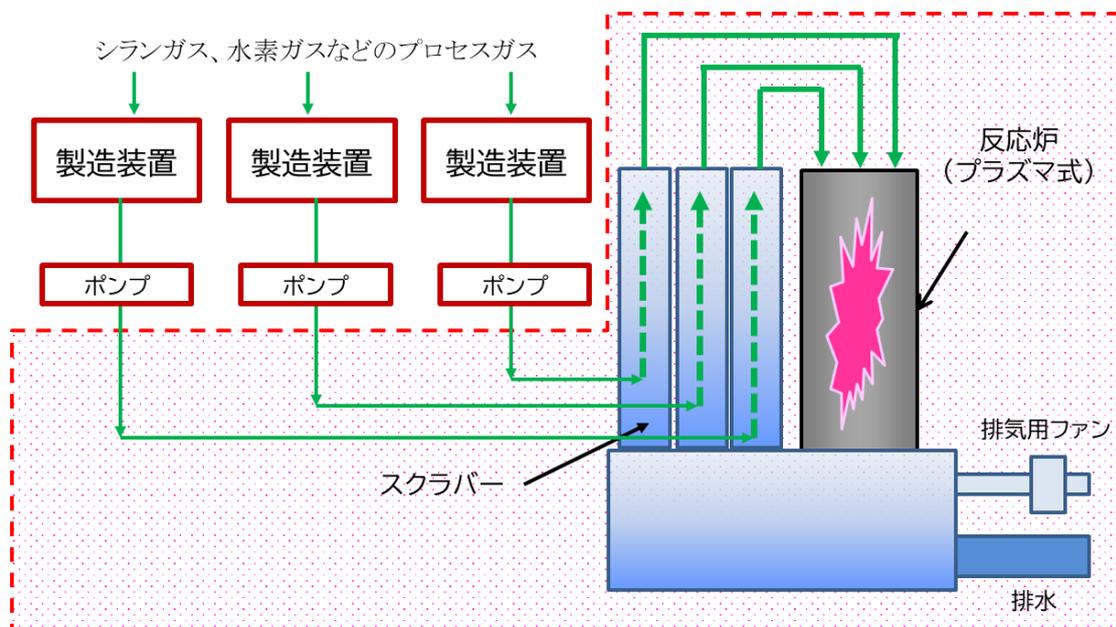


図2 開発した減圧除害装置の構成

本開発で製作した除害装置は、製造装置のポンプ出口から排ガス処理装置内までを真空ポンプにより減圧することで配管内のガスの爆発下限界を上げた。赤点線内が0.1～10キロパスカル程度の減圧状態に保たれている。従来装置とは異なり、「ポンプ」と「スクラバー」の間で希釈用窒素ガスを導入していない。

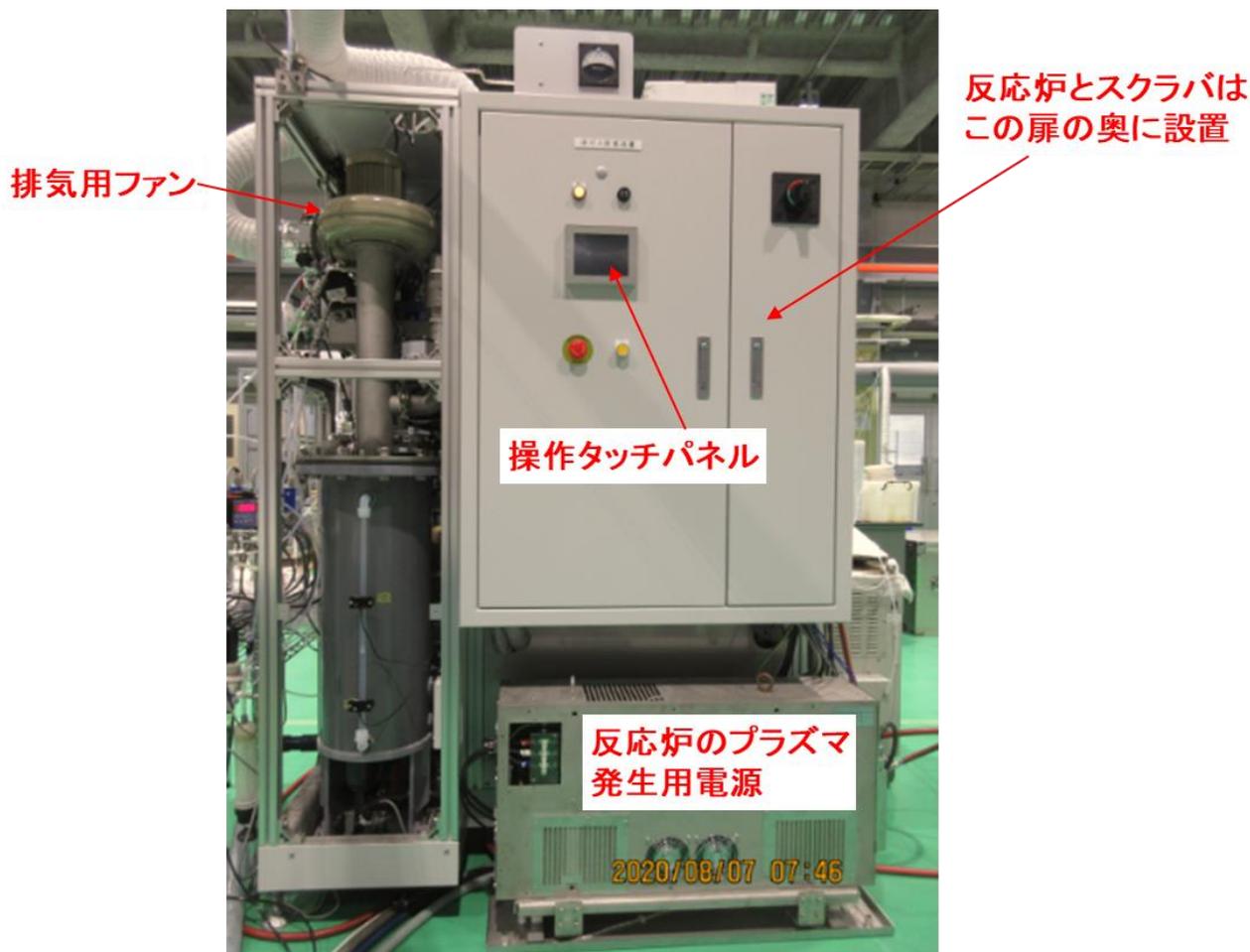


図3 試作した減圧除害装置

外形サイズ 幅1350×奥行き900×高さ1860（ミリメートル）

<用語解説>

注1) 化学気相合成法（CVD：Chemical Vapor Deposition）

薄膜材料を製造する合成法の1つで、反応容器内に薄膜の構成元素を含む原料ガスを供給し、基板ウェハ上で原料ガスを分解・化学反応させることで基板上に薄膜を堆積させる方法。

注2) 爆発下限界（LEL：Lower Explosion Limit）

可燃性ガスまたは可燃性液体の蒸気が空気または酸素と混合した場合、特定のガス濃度範囲で着火源が存在する時に爆発する。この濃度範囲を爆発範囲といい、濃度の低い方の限界を爆発下限界、高い方の限界を爆発上限界という。

注3) アークプラズマ

2つの電極間の放電で、電流増加に伴い電極間電圧が減少する状況で発生しているプラズマのこと。電子、イオン、中性気体原子・分子の温度がほぼ等しくなる。アークプラズマの電圧は低電圧（10～数10ボルト）であり、電流は大電流（100～1000アンペア）となることが特徴である。

注4) エピタキシャル成長

薄膜結晶成長技術の1つで、基板となる結晶の上で結晶成長を行い、下地の基板の結晶面にそろえて配列する成長の様式のこと。高品位な半導体ウェハの表面を作成する場合などに使用される技術。

注5) アッシング

フォトレジストなどの樹脂表面にラジカルやイオンなどを照射し、樹脂を気化、分解する処理のこと。酸素ガスや水素ガスなどのプラズマが用いられる。灰化処理、ストリッピング処理などともいわれる。

<お問い合わせ先>

<開発内容に関すること>

柳澤 道彦 (ヤナギサワ ミチヒコ)

カンケンテクノ株式会社 開発部

〒617-0833 京都府長岡京市神足太田30-2

Tel : 075-874-5092

E-mail : m-yanagisawa[at]kanken-techno.co.jp

<JSTの事業に関すること>

沖代 美保 (オキシロ ミホ)

科学技術振興機構 産学共同開発部

〒102-0076 東京都千代田区五番町7 K's五番町

Tel : 03-5214-8995 Fax : 03-5214-0017

E-mail : jitsuyoka[at]jst.go.jp