

論文の要旨

題目

管状火炎を用いた加熱システムに関する基礎的研究
(A Fundamental Study on the Heating System with a Tubular Flame)

氏名 胡 杰

新しい火炎素である管状火炎は、円筒座標系の火炎素として基礎燃焼学の立場から研究されてきたが、温度分布の対称性から断熱性に優れ、また、旋回型の管状火炎は空気力学にも安定なため、これを用いた様々な管状火炎バーナが開発されている。その一つとして、管状火炎内部の高温領域を利用して半導体製造工場から排出される有毒ガスを加熱処理するシステムへの応用が期待されている。しかしながら、このシステムを構築するための基礎的知見が欠如している。そこで、本研究では、管状火炎内部の高温領域を用いた新しい加熱技術を創成すべく、その基礎的知見を系統的に実験で求めることとした。

第1章では、半導体製造工場の排気ガス加熱処理システムの現状と問題点、並びに、管状火炎と管状火炎バーナの特性を調査し、広く管状火炎内部の高温領域を用いた新しい加熱技術を創成する意義と重要性について述べている。

第2章では、本研究で用いたバーナや実験装置、測定装置について述べている。具体的には、現在半導体工場で使用されているスリットバーナや非旋回型管状火炎バーナのほか、以前の結果に基づき設計・製作したスワール数可変の旋回型管状火炎バーナ、並びに、燃料・空気供給装置、流れ場の観察に用いたPIVシステム、温度測定方法について詳述している。

第3章では、新しい加熱技術を提供する管状火炎バーナの基本特性として、バーナ内部の流動状態に及ぼす旋回強さと流量の影響についてPIVシステムを用いて詳しく観察し、バーナのスワール数を大きくしていくと、0.7前後で再循環流が発生すること、さらに大きくしていくと1.4前後で周方向の不安定性が発生することなどの特性を明らかにしている。

第4章では、非旋回型と旋回流型のバーナを用いて、火炎形状や火炎安定範囲を求めるとともに、火炎内部の高温領域に被加熱用空気を流した場合の火炎形状や温度上昇の様子を実験的に求め、その結果、非旋回型バーナに比べ旋回型バーナの方が火炎の対称性がよく、火炎安定範囲も広いこと、旋回を強くするほど加熱速度が速くなることなどを明らかにしている。

第5章では、旋回による加熱速度の増加のメカニズムを詳しく調べるため、さらにスワール数を小刻みに変化させて火炎形状や火炎安定範囲、並びに、被加熱用空気を流した場合の温度上昇の様子を詳細に求めている。また、比較として、従来の使用されているスリットバーナについても火炎形状や火炎安定範囲、並びに、被加熱用空気を流した場合の温度上昇の様子を測定している。その結果、従来型のスリットバーナに比べ、旋回型管状火炎バーナの方が、優れた加熱性能が得られたことを明らかにしている。

第6章では、特に加熱速度に大きな影響を与える流動特性について、PIVシステムを用いてさらに詳しく観察を行っている。その結果、スワール数が0.35と小さい場合は、燃焼ガスと被加熱空気との界面は単純に回転運動により面積が増加するだけだが、スワール数0.7前後では周方向の不安定性が現れ、スワール数1.4前後では軸方向の不安定性が加わり、燃焼ガスと被加熱空気との熱・物質混合が促進されること、また、非燃焼場と比較して燃焼場では回転運動と燃焼ガスの膨張効果により被加熱空気流の不安定性が抑制されることなどを明らかにしている。

第7章では、上記温度場、流れ場の結果を踏まえて、高温燃焼ガスによる加熱のメカニズムに関して解析解による検討を行っている。その結果、加熱速度の旋回強度による増加は、旋回の巻き込みによる

伝熱面積の増加，流れの周方向・軸方向不安定性による対流熱伝達の増加，そして，乱流運動による増加の領域に分類され，スワール数が0.7以下では，伝熱面積の増加で定量的にも実験結果をよく説明できることを明らかにしている．

第8章では，以上の結果を要約し，総括している．

本研究を行うことにより，管状火炎内部の高温領域を用いた新しい加熱処理を創成すべく，その基礎的知見を系統的に実験で求めることとした．その結果は，旋回型管状火炎バーナを用いた方が，従来型のスリットバーナの加熱方法に比べ，安定性に優れ，且つ，加熱効果が顕著であるほか，従来のスワールバーナで行われている乱流による有毒排気ガス処理速度の向上より，よく管理された層流状態に確実に処理できることを示す．近い将来に半導体工場から排出される有毒ガスを加熱処理するシステムへの応用が期待される．