

上段コイルおよび下段コイル電流を同時変調した タンデム型誘導熱プラズマによる純シリコンナノ粒子の生成

Pure Silicon Nanoparticle Synthesis using Tandem Type of Induction Thermal Plasmas with
Simultaneous Controlled Modulation of Upper- and Lower-Coil Currents

H31海自15

派遣先 第24回 プラズマ化学に関する国際会議(イタリア・ナポリ)

期間 2019年6月7日～2019年6月16日(9日間)

申請者 金沢大学 大学院自然科学研究科

博士前期過程2年 隠田 一輝

海外における研究活動状況

研究目的

ケイ素(Si)ナノ粒子は、太陽光電池材料、医療用発光材料およびリチウムイオン電池用の大容量負極材料として期待されている。このようなSiナノ粒子を産業的に応用する上で、Siナノ粒子の量産化が大きな課題となっている。そのため、Siナノ粒子の安定的な量産化手法の開発が必要不可欠である。申請者らは、これまでに大電力変調型誘導熱プラズマ(MITP)を用いたSiナノ粒子の大量生成手法を開発してきた。今回、申請者らは、新たに開発したタンデム型変調誘導熱プラズマを用い、Siナノ粒子の効率的な生成法を開発した。この研究成果を国際会議ISPC24にて発表を行った。

海外における研究活動報告

国際シンポジウムISPC24において、自身は「Pure Silicon Nanoparticle Synthesis using Tandem Type of Induction Thermal Plasmas with Simultaneous Controlled Modulation of Upper- and Lower-Coil Currents」という発表タイトルで発表を行った。

誘導熱プラズマ(Induction Thermal Plasma)は、以下の理由から、ナノ粒子生成や成膜処理などの材料プロセス分野への応用が行われている。(1)1万Kを超えるガス温度、(2)高い化学反応性、(3)高温場を宙に浮いた形で作り出すことができるため不純物混入が少ない、などの利点を持っている。このような利点を活かし、我々の研究室では、大電力変調型誘導熱プラズマ(Modulated Induction Thermal Plasma)を開発してきた。変調誘導熱プラズマは、プラズマを維持するコイル電流に対して振幅変調することで、プラズマを生成・維持している。このような変調を行うことで、ガス温度などの反応場を制御することが可能である。我々は、この変調誘導熱プラズマを用いることで、 Fe^{3+} -doped TiO_2 ナノ粒子を820 g/hという非常に高い生成レートでナノ粒子を生成することに成功した。さらに、高い生成効率を実現するために、新たにタンデム型変調誘導熱プラズマを開発した。タンデム型誘導熱プラズマでは、通常1つの誘導コイルを用い維持する誘導熱プラズマに対してもう1つの誘導コイルを追加することで、さらなる高次的なプラズマの制御を行うことが可能である。さらに、2つの独立なコイルを用

いることで、1つは維持用のコイル、もう一つはプラズマ制御用のコイル、といったようにコイルの役割を分担することができる。そのため、プラズマが消えることなく、安定的な材料プロセスを行うことができる。今回、この2つのコイル電流を同時に変調制御することで、効率的なナノ粒子生成を行うことができることを見出した。誘導熱プラズマを用いたナノ粒子生成では、蒸発した原料蒸気を急冷することで、ナノ粒子を得ることができる。この急冷過程において、緩やかに冷却すると、マイクロメートルオーダーの大きな粒子が生成されてしまう。そのため、このナノ粒子生成プロセスでは、原料蒸気の急冷を行うことが非常に重要であり、ナノ粒子の生成効率を向上させるためには、大きな急冷を行うことが必要である。今回の研究結果では、タンデム型変調誘導熱プラズマの2つのコイルを制御することで、従来法ではなし得なかった高い急冷効果を得ることができ、非常に高いナノ粒子生成効率を得ることができた。

自身が参加したISPC24: 24th International Symposium Plasma Chemistryは、プラズマ化学とその応用プロセスに関する研究分野において最も歴史・権威のある国際会議である。今回の会議は約500件の研究発表が行われた。本会議では、自身の研究テーマである熱プラズマプロセスに関する研究成果が多く発表された。熱プラズマプロセスの中でも特に、ナノ粒子生成を含むナノ材料合成、アーク溶接

に関する発表が多く占めていた。熱プラズマは、その複雑さから詳細な振る舞いの把握がなされていない。そのため、実験を通じた計測から現象を把握する研究や、熱プラズマに関する物理モデルを導入し数値解析により現象を把握する研究発表が多かった。自身の研究においても、実験による観測や数値解析を通して複雑な熱プラズマ反応場の把握を行っている。そのため、非常に参考となる研究成果を知見として得ることができた。特に興味を持った研究は、Prof. V. Colomboの研究である。本研究では、数値シミュレーションにより誘導熱熱プラズマの熱流体場およびナノ粒子の生成・成長過程を計算し、パラメータを変更した場合、プロセスにどのように影響がでるかということを発表していた。この研究は自身の研究に深い関わりがあり、深い知見を得ることができ、自身の研究テーマへのモチベーションにつながった。

謝辞

最後に、貴財団の助成により有意義な国際会議での研究活動を行うことができました。心より御礼申し上げます。

この派遣の研究成果等を発表した 著書、論文、報告書の書名・講演題目

Pure Silicon Nanoparticle Synthesis using Tandem Type of Induction Thermal Plasmas with Simultaneous Controlled Modulation of Upper- and Lower-Coil Currents