

平成 28 年 1 月 14 日

国立大学法人東京大学
国立大学法人京都大学
高知県公立大学法人高知工科大学
株式会社 FLOSFIA

マイクロサイズの液滴挙動の観察に成功！ ～常圧下で高品質/高均質に成膜が可能なミストデポジション～

1. 本研究成果のポイント

- ◆高温の固体に滴下した際のマイクロメートルサイズの液滴挙動の観察に成功した。
- ◆マイクロメートルサイズの液滴は固体表面上を飛び跳ねるなど複雑な挙動を示した。
- ◆液滴挙動を制御することができると、立体構造物や広範囲への均質成膜への貢献が期待される。

2. 本研究成果の概要

東京大学生産技術研究所の昔蔗特任准教授らの研究グループは、ミストを用いた化学気相蒸着（Mist Chemical Vapor Deposition、以下ミストデポジション、注1）法により薄膜を形成する際のミスト液滴挙動のモデル化と流動解析に取り組んできました。本研究により、マイクロメートルサイズの液滴挙動の観察に成功し、その液滴が特異な挙動を示しました。

通常、直径数ミリメートル程度の液滴を高温の固体に滴下すると液滴は固体の温度に応じて核沸騰状態、遷移沸騰状態、膜沸騰状態（ライデンフロスト現象、注2）となることが知られております。しかしながら、対象とする直径が数十から数百マイクロメートルの液滴では、どの状態においても、飛び跳ね複雑な挙動を示すものが存在しました（図1、2）。この液滴挙動がミストデポジション法における、高均質膜形成の要因となっていると考えられます。さらには、このように複雑な挙動を示す液滴を制御することができると、これまで成膜が困難であった立体構造物や広範囲への均質成膜への鍵となることが期待されます。

3. 本研究成果の内容

ナノレベルで制御され高度な機能を持つ高品質/高均質薄膜は半導体デバイスやコーティングの分野に広く用いられています。これらの高品質/高均質薄膜を形成するためのプロセスとしてプロセス内部を真空にする真空成膜プロセスが主流となっています。しかしながら、真空成膜プロセスは大量のエネルギーを要し、コスト増につながってしまいます。そのため、制御性に優れた非真空成膜プロセスの開発が強く要望されています。

その成膜制御性に優れた気相成長の概念を非真空成膜プロセスに導入した「ミストデポジション法」が京都大学の藤田教授と高知工科大学の川原村准教授の研究グループから提案されました。ミストデポジション法では、原料の溶液に超音波を加え、発生した直径数マイクロメートルの霧（ミスト）をキャリアガスで成膜部に輸送し、成膜部を加熱することで真空とすることなく大気圧下において直接膜を形成します（図3）。本手法は株式会社 FLOSFIA にて産業

利用が進められており、省エネルギーに高均質の薄膜を形成できる手法として近年非常に注目されております。

東京大学生産技術研究所の菅原特任准教授らの研究グループは、本成膜手法の産業における実用化と普及を目指して、その要素となる液滴挙動のモデル化と流動解析に取り組んできました。その研究開発の中で、詳細な液滴挙動の把握のために、実体顕微鏡とハイスピードカメラを組み合わせ、直径が数十～数百マイクロメートルの液滴の挙動を観察しました。

直径数ミリメートル程度の液滴を高温の固体に滴下すると液滴は固体の温度に応じて核沸騰状態、遷移沸騰状態、膜沸騰状態（ライデンフロスト現象）となることが知られております。しかしながら、対象とする直径が数十から数百マイクロメートルと微小な液滴では、上記のどの状態においても、高温の固体からの熱により液滴の一部が蒸発し、体積膨張により固体面から飛び跳ね複雑な挙動を示すものが存在しました。また、液滴の運動が加速されるものも存在した（図1、2）。

このように蒸発によりマイクロメートルサイズの液滴自身が複雑に運動することがミストデポジション法における高均質成膜の一因となっていると考えられます。複雑な挙動を示す液滴を制御することができると、これまで成膜が困難であった立体構造物やより広範囲への均質成膜が期待され、ミストデポジション法の適用範囲が大きく広がることを意味します。

本研究成果を元に、共同研究先である京都大学、高知工科大学、FLOSFIA とともに、さらに微小な液滴挙動のモデル化を進めると同時に、得られたモデルからのミストデポジション法に適した装置設計手法の開発を推し進め、これまで成膜が困難であった立体構造物やより広範囲への均質成膜への貢献に努めていきたいと思っております。

なお本研究は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託事業「エネルギー・環境新技術先導プログラム／高品質/高均質薄膜を実現する非真空成膜プロセスの研究開発」（研究代表：京都大学藤田静雄教授）の一環として行われました。



図1 液滴挙動の連続写真例（撮影間隔：約 0.006 秒、液滴径約 100 μ m、ヒータ温度 310°C 設定）

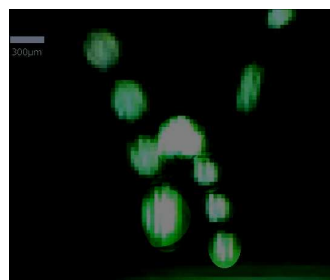


図2 液滴挙動のストロボ写真例（撮影間隔：約 0.006 秒、液滴径約 300 μ m、ヒータ温度 310°C 設定）

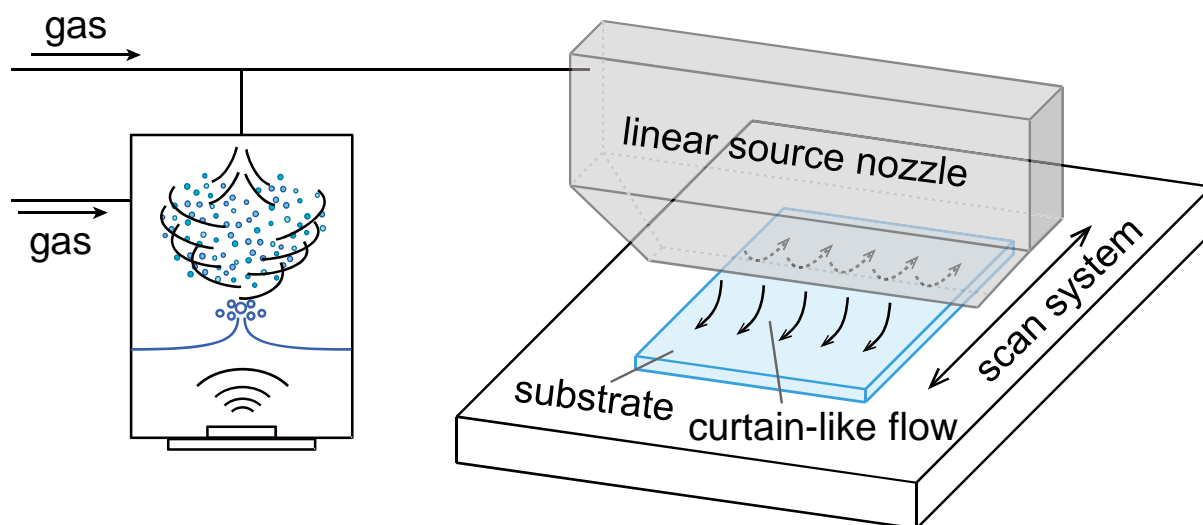


図3 ミストデポジション法の概要図（リニアソース式）

4. 関連情報の発表予定

NEDO エネルギー・環境新技術先導プログラム「高品質／高均質薄膜を実現する非真空成膜プロセスの研究開発」シンポジウム ～ミストデポジション法の科学と応用～

日時：平成 28 年 1 月 18 日（月）13 時～19 時

会場：京都リサーチパーク西地区 4 号館 2F ルーム 2

5. 問い合わせ先：

東京大学 生産技術研究所 エネルギー工学連携研究センター
特任准教授 菅 寂樹（カンシャ ヤスキ）

Tel. 03-5452-6720 Fax. 03-5452-6728 E-mail: kansha@iis.u-tokyo.ac.jp

京都大学 工学系研究科 光・電子理工学教育研究センター
教授 藤田 静雄 Tel. 075-383-3030

高知工科大学 総合研究所 ナノテクノロジー研究センター
准教授 川原村 敏幸 Tel. 0887-57-2771

株式会社 FLOSFIA

代表取締役社長 人羅 俊実 Tel. 075-963-5202

6. 用語解説：

注 1) ミストデポジション法：

反応溶液をミストとし、成膜部を加熱することで真空とすることなく大気圧下において直接膜を形成します。本手法は京都大学の藤田教授と高知工科大学の川原村准教授の研究グループにより提案された成膜手法で株式会社 FLOSFIA にて産業利用が進められており、省エネルギーに高均質の薄膜を形成できる手法として近年非常に注目されています。

注 2) ライデンフロスト現象：

液滴を沸点より十分に高い温度の金属などの固体面に滴下した際に、滴下した液滴が蒸発し、液滴下部に蒸気が生じることから固体から液滴への伝熱が抑制され、液滴が完全に蒸発するのに時間を有する現象。また、液滴下部に生じた蒸気のために液滴が浮遊している状態。

以上