

周期ナノ構造表面を用いた液滴制御と蒸発伝熱の促進

EXPERIMENTAL INVESTIGATION ON DROPLET EVAPORATION ON NANOSCALE PERIODIC CUBIC-PILLAR SURFACE

M23海自2

派遣先 第17回国際伝熱会議 (IHTC17) (南アフリカ共和国・ケープタウン)

期 間 2023年8月12日～2023年8月19日 (8日間)

申請者 東京理科大学 先進工学部 准教授 植 木 祥 高

海外における研究活動状況

研究目的

高熱流束の除熱には蒸発といった相変化現象を活用することが効果的である。本研究においては蒸発現象を微視的なスケールから制御して高熱輸送化を実現することを目標とし、伝熱面に周期的なナノスケールの表面微細構造を施し、接触液滴の動的挙動と伝熱特性を調査した。

海外における研究活動報告

近年における計算機の処理能力の増大が著しいが、これを支えているのは半導体の微細加工技術の進展である。次世代型の露光装置が実用化されれば、半導体の微細化は2035年まで続き、半導体構造の改良も併せてムーアの法則は2040年まで続くと言われている。このような半導体素子の微細化・集積化には、素子の発熱密度の更なる増大を伴う。効率的に温度を下げることで機器の消費電力を抑えるとともに、長寿命化にも繋がることから、高性能化するエレクトロニクス機器の熱管理は重要な技術的課題に挙げられる。

このような高熱流束の除熱には蒸発といった相変化現象を活用することが効果的である。

相変化時には多量の熱の輸送する潜熱が伴うためである。本研究においては蒸発現象を微視的なスケールから制御して高熱輸送化を実現することを目標とし、伝熱面に周期的なナノスケールの表面微細構造を施し、接触液滴の動的挙動と伝熱特性を調査した。電子ビームリソグラフィを用いてシリコン基板上に、一辺およそ100 nmの角柱を周期的に配置した周期ナノ構造 (図1：電子顕微鏡画像) を施した。作製したナノ構造に水を滴下すると構造物間に浸入するため濡れ広がりが改善することと (図2を参照)、最大約2倍の蒸発促進効果が得られていることを確認している。

今回の研究発表においては、蒸発速度、表面温度、濡れ広がり時間変化といった複数物理量を計測し、蒸発伝熱の高熱輸送化の効

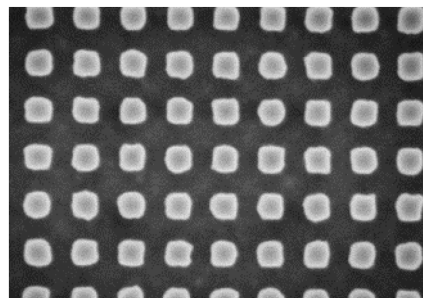


図1 周期ナノ構造面

果測定の結果を報告するものである。最も稠密な微細構造面である、一辺と高さが約100 nmの四角柱を構造間隔約200 nmに周期的に配置した試料は単位接触線あたりの蒸発速度が他より高い結果を得た。本結果は、周期ナノ構造面では構造間隔が微細化する程、液滴の接触半径が増大することと、ナノ構造による接触線の物理ピンギング現象(物理的な固気液三相接触線の固定)が継続されることにより蒸発速度維持に寄与したと考えられる。最小の構造間隔においては角柱の間が100 nm程であり、可視光も侵入できない隙間となる。このような稠密構造が強力な物理ピンギングを継続的に誘起していると考えられる。

フラット面における蒸発液滴の動的挙動のモデルでは液滴半径が一定のモードと接触角が一定のモードに大別される。本研究の周期ナノ構造の結果を比較すると、強力なピンギング力に起因して、上記の両者でもないモード(本研究では、新たに遷移モードと呼ぶ)を確認している。先行研究においてナノ構造を蒸発面

に用いた例は存在するものの、本研究とは異なり複雑な構造特性を有するものを使用していたことに起因していると考えられるが、今回の遷移モードといった特異な結果は得られていなかった。本結果は、表面構造特性が制御されたナノ構造面を今回新たに用いたことにより明らかになった知見である。上述のとおり、蒸発伝熱におけるナノスケールの物理機構の理解が進展するとともに、高熱輸送化を実現する表面特性の基盤知見を獲得している。上述の新規性を有した研究結果を国際伝熱会議にて発表した。

今回の研究発表では2分間のショートプレゼンテーションの後におよそ1時間のポスタープレゼンテーションを行うという発表形式であった。図3の発表スライドを用いて研究概要を説明した。図4は発表時の写真である。ポスタープレゼンテーションでは研究詳細を問い合わせる複数の参加者が訪れ、研究成果の発信という観点にて十分な成果を達成することができた。

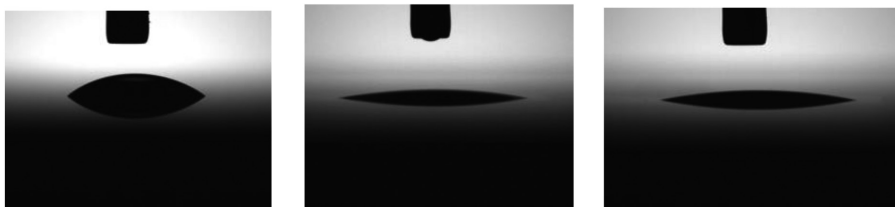


図2 接触角(左)フラット面；(中央)構造周期 400 nm；(右) 200 nm

IHTC
Since 1951

17th INTERNATIONAL HEAT TRANSFER CONFERENCE
14 – 18 August 2023 | Cape Town, South Africa

IHTC-17 | ID: 634

**EXPERIMENTAL INVESTIGATION ON
DROPLET EVAPORATION
ON NANOSCALE PERIODIC CUBIC-PILLAR SURFACE**

Yoshitaka Ueki*, Hayata Shiga, Masahiko Shibahara

*Tokyo University of Science
Osaka University

IHTC
Since 1951

IHTC-17 | ID: 634

□ Wettability modification and change in evaporation characteristics.

□ **Objective**
To experimentally characterize the droplet evaporation dynamics in the case of a well-defined nanostructured surface.

□ **Nanoscale periodic cubic-pillar surface**
Fabricated by electron beam lithography

□ **Evaporation & droplet dynamics**

□ **Evaporation characteristics**

□ **Contact angle**

□ **Conclusions**

- The nanostructured surfaces induce the larger droplet spreading on the specimens and the intense pinning of the contact line.
- The nanostructured surfaces effectively reduce the lifetime of the evaporating droplets.

SEM image (a) Flat surface (b) Nanostructured surface

Thank you for your attention!

図3 ショートプレゼンテーションの発表スライド

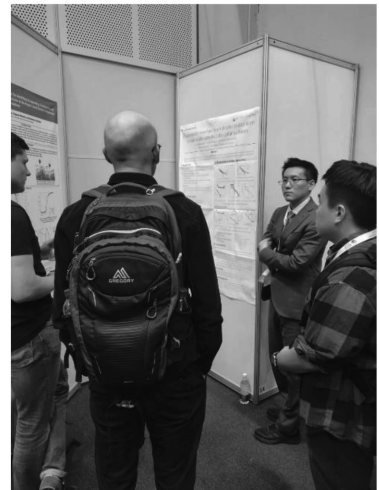
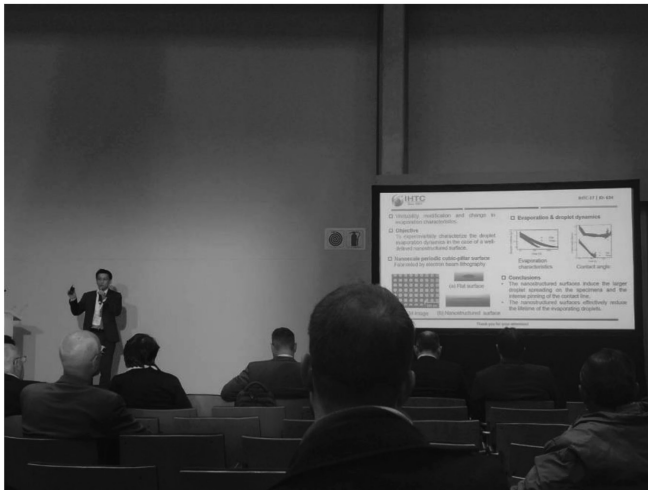


図4 プレゼンテーションの様子; (左図) ショートプレゼンテーション; (右図) ポスタープレゼンテーション