

機関番号：32619

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2009～2010

課題番号：21860016

研究課題名（和文） MEMS 伝熱面を用いた高熱流束域沸騰における合体気泡底部気液構造の解明

研究課題名（英文） Liquid-vapor structure under boiling bubbles on MEMS heat transfer surfaces during high heat flux boiling

研究代表者

丹下 学 (TANGE Manabu)

芝浦工業大学・工学部・助教

研究者番号：70549584

研究成果の概要（和文）：

本研究課題は、高熱流束徐熱を背景に、合体沸騰気泡底部の液膜構造と徐熱メカニズムを解明することを目的とした。始めに MEMS 伝熱面の設計パラメータを求めるために、気泡の成長を 2 次元に拘束した極小伝熱面を設計製作し、そこでの沸騰実験を行った。次にマクロ液膜の生成を実現する MEMS 伝熱面を開発した。MEMS 伝熱面には 1) 薄膜ヒータ、2) 発泡トリガ、3) 薄膜微小熱電対、が加工されている。これを用いて 2 つの沸騰気泡を発生させ、合体を確認した。

研究成果の概要（英文）：

This research aims to reveal the liquid-vapor structure beneath the coalescing boiling bubbles by realizing the minimum unit of boiling phenomena, a pair of coalescing bubbles. First, we have conducted the ordinary boiling experiment in a confined space (Hele-Shaw cell). We found the coalescence of the bubble and liquid portion under the bubble. In accordance with the experimental results, we design an MEMS heat transfer surface with 1) Thin film heaters for transient heating, 2) Nickel electrodes for making a tiny hydrogen bubble as boiling nuclei, and 3) thin film thermocouples.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
平成 21 年度	1,080,000	324,000	1,404,000
平成 22 年度	900,000	270,000	1,170,000
総計	1,980,000	594,000	2,574,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・熱工学

キーワード：沸騰熱伝達、MEMS 加工、気泡核生成、サブクール沸騰

## 1. 研究開始当初の背景

沸騰現象は発電（原子力・火力）・製鉄・電子冷却などといった幅広い応用を持ち、現在までに数多くの研究がなされているが、沸騰は、相変化を含む複雑な熱流体現象であるため、実験結果は平均的・統計的なものとなり、基礎方程式からの理解までには未だ隔たりがある。近年の MEMS 技術の発達によって微細な領域での測定が可能になってきており、研究代表者は MEMS 技術を用いた伝熱面を開発することで沸騰の最小単位とでも呼ぶべ

き単一沸騰気泡の生成制御に成功し、伝熱面温度分布の測定によって気泡底部の乾き面生成とその拡大を直接的に捉えることができた。しかし、一般に高熱流束域では気泡が合体し、CHF のメカニズムには、気泡間の間に残ったマクロ液膜が重要な役割を果たすことが知られているため、単一気泡の実験だけでは高熱流束除熱の伝熱機構を解明することができない。過去に伝熱面近傍の液膜構造の測定については、プローブによるもの、透明伝熱面によるものなどがなされている。

本研究では、それらの研究結果を踏まえ、直接的に液膜厚さを観察、測定するとともに、液膜底部の温度分布をも計測し、伝熱機構を明らかにすることを背景としている。

## 2. 研究の目的

(1)2次元沸騰で液膜構造の直接観測、濡れ性が与える影響の調査

MEMS 伝熱面を用いた実験を行う前に、実際的な伝熱面で気泡合体がどのように起こり、液膜構造が形成されているのかを確認する。具体的には透明な並行平板間での沸騰を観察することとする。液膜構造を高速カメラで直接観測し、伝熱面を変えることで濡れ性の影響を調査する。この実験で得られた結果（気泡合体の起こる気泡核間隔、平板間隔の影響）は、以下に述べる MEMS 伝熱面の設計指針を与える。

(2)合体気泡測定用 MEMS 伝熱面の開発

次に、気泡底部に液膜を形成する合体沸騰気泡の最小単位を実現するために、新たな MEMS 伝熱面を開発する。具体的には、発泡を制御可能な2つの気泡核を持つ平滑な MEMS 伝熱面を製作し、発泡点間に微細な熱電対を複数配置する。

(3)MEMS 伝熱面を用いた液膜構造の解明

開発した MEMS 伝熱面を用いて合体気泡域での液膜構造の直接観察と伝熱機構の解明に迫る。具体的には、透明な2枚の並行平板を間に発泡点を含むように配置し、液膜構造の観察と壁面温度分布の非定常測定を行う。

## 3. 研究の方法

本研究課題は、原子力・製鉄・電子素子冷却における高熱流束徐熱を背景に、高熱流束沸騰の特徴である気泡合体によって現れる液膜構造と徐熱メカニズムを解明することを目的とする。具体的にはMEMS技術を用いて伝熱面上に沸騰気泡合体现象の最小単位、つまり隣り合う2つの気泡の合体、を実現し、液膜構造の直接観察と伝熱面温度分布の時間変化を計測して、その関係を議論する。

MEMS伝熱面の設計パラメータ（気泡合体の起きる気泡核間隔）を求めするために、はじめに実際的な伝熱面で気泡合体がどのように起こり、液膜構造が形成されているのかを確認する予備実験を行った。具体的には透明な平行ガラス平板によって気泡の成長を2次元に拘束した極小伝熱面を設計製作し、そこでの沸騰実験を行った。予備実験の結果、沸騰気泡の成長・合体および気泡底部の液膜構造を捉え、設計パラメータを得ることはできたが、伝熱面とガラスの間が気泡核として機能したため、得られた実験結果を定量的に評価することができなかった。現在二次元拘束部分を

改良した伝熱面を製作している。

上記の実験で得られた指針から、マクロ液膜の生成を実現する MEMS 伝熱面を開発した。MEMS 伝熱面にはフォトリソ技術と薄膜形成を用いて3つの回路、1) 水の電気分解によって気泡核を供給する「発泡トリガ」、2) 伝熱面温度分布を計測する「薄膜微小熱電対」、3) 過渡加熱によって過熱液層を形成する「薄膜ヒータ」、が加工されている。MEMS 加工を行う都立産業技術研究センターが移転となったため、計画通りの研究執行が難しくなったが、伝熱面の作成に成功し、それぞれの回路が機能することを確認する実験を行った。過熱液層の成長を制御した状態で発生させた2つの気泡は、過去の解析と矛盾しない速度で成長し、合体時には界面形状の急激な変化による表面波が発生することなどが確認された。なお、系統的な実験およびデータの解析は今後の課題である。

## 4. 研究成果

(1)2次元沸騰で液膜構造の直接観測、濡れ性が与える影響の調査

MEMS 伝熱面の設計パラメータ（気泡合体の起きる気泡核間隔）を求めするために、はじめに実際的な伝熱面で気泡合体がどのように起こり、液膜構造が形成されているのかを確認する予備実験を行った。具体的には透明な平行ガラス平板によって気泡の成長を2次元に拘束した極小伝熱面を設計製作し、そこでの沸騰実験を行った。予備実験の結果、沸騰気泡の成長・合体および気泡底部の液膜構造を捉え、設計パラメータを得ることはできたが、伝熱面とガラスの間が気泡核として機能したため、得られた実験結果を定量的に評価することができなかった。現在二次元拘束部分を改良した伝熱面を設計・製作している（図1参照）。

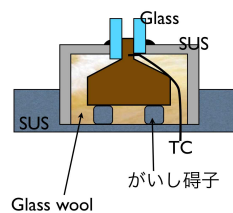
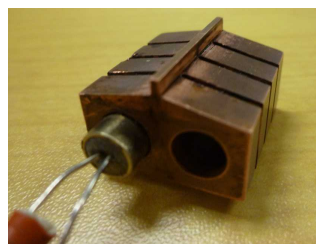


図1：2次元沸騰装置（上図：伝熱銅ブロック、下図：2次元拘束部分概念図）

### (2) 合体気泡測定用 MEMS 伝熱面の開発

上記の実験で得られた指針から、マクロ液膜の生成を実現する MEMS 伝熱面を開発した。MEMS 伝熱面にはフォトリソ技術と薄膜形成を用いて 3 つの回路, 1) 水の電気分解によって気泡核を供給する「発泡トリガ」、2) 伝熱面温度分布を計測する「薄膜微小熱電対」、3) 過渡加熱によって過熱液層を形成する「薄膜ヒータ」, が加工されている。MEMS 加工を行う都立産業技術研究センターが移転となったため、計画通りの研究執行が難しくなったが、伝熱面の作成に成功した。図 X には、完成した伝熱面と裏面のヒータデザインを示す。

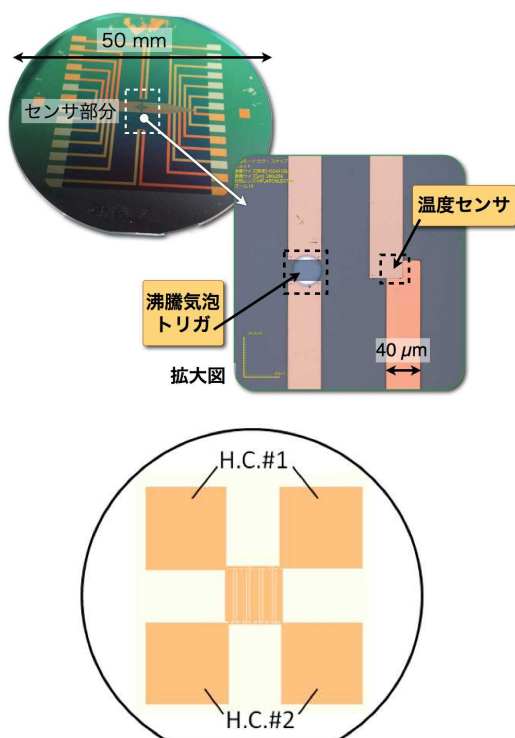


図 2: MEMS 伝熱面 (上図) 及び裏面のヒータデザイン (下図)

### (3) MEMS 伝熱面を用いた液膜構造の解明

それぞれの回路が機能することを確認する実験を行った。過熱液層の成長を制御した状態で発生させた 2 つの気泡は、過去の解析と矛盾しない速度で成長し (図 3 参照)、合体時には界面形状の急激な変化による表面波が発生すること (図 4 参照) などが確認された。なお、この MEMS 伝熱面を大量に作成し、系統的な実験およびデータの解析を行うことが今後の課題である。

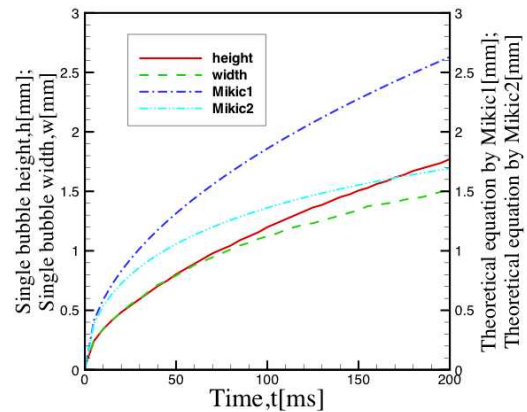


図 3: 成長する気泡の幅と高さの時間変化 (熱流束  $58.3 \text{ kW/m}^2$ )

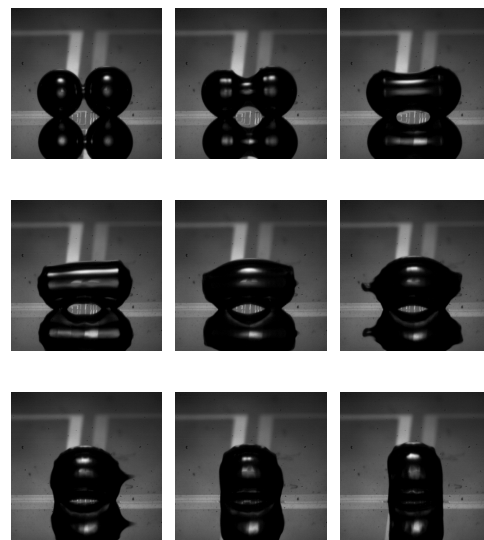


図 4: 2 沸騰気泡の成長と合体 (熱流束  $58.3 \text{ kW/m}^2$ )

### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計 1 件)

Manabu TANGE, Shu TAKAGI, Fumio TAKEMURA, and Masahiro SHOJI, Boiling Heat Transfer Surface capable of Transient Heating and Nucleation Control, 14th International Heat Transfer Conference

場所: ワシントン DC

発表年月日: 2010. 8. 11

発表者: 丹下 学

### 6. 研究組織

(1)研究代表者

丹下 学 (TANGE Manabu)

芝浦工業大学・工学部・助教

研究者番号：70549584

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし