

## 界面せん断力を受ける加熱薄液膜流の熱伝達特性

廣川, 智己

<https://doi.org/10.15017/1654888>

---

出版情報：九州大学, 2015, 博士（工学）, 課程博士  
バージョン：  
権利関係：全文ファイル公表済

氏 名 : 廣 川 智 己

論 文 名 : 界面せん断力を受ける加熱薄液膜流の熱伝達特性

区 分 : 甲

## 論 文 内 容 の 要 旨

本研究では、高熱流束かつ大面積の発熱面をもつ電子機器に対応可能な、高効率な相変化を用いた冷却システムの構築に向けて基礎的な知見を得るため、界面せん断力を受ける加熱薄液膜流の液膜挙動および熱伝達特性について明らかにするとともに、混合媒体を用いた伝熱促進の有効性を検証する。本論文は以下の7章より構成される。

第1章では、半導体素子冷却の現状と課題を明らかにした。近年注目されている相変化を用いた冷却システムでは、蒸発する液膜の厚さが冷却能力を決定する重要なパラメータであることを述べ、沸騰二相流冷却システムの例を用いて液膜厚さの制御に関する問題点を指摘した。その解決策として界面せん断力を受ける液膜流の提案を行い、本論文の意義を明確化した。

第2章では、界面せん断力を受ける液膜流、さらに液膜流の熱伝達特性として、すでに多くの研究が行われている沸騰二相流における環状液膜および流下液膜に関して研究報告をまとめた。液膜流の熱伝達特性は、液膜表面の波立ち、加熱による **thermocapillary force** の影響により、液膜の形状が複雑になるため、現象が詳細に解明されていないことが明らかとなった。また、界面せん断力を受ける液膜流に関する現状における課題を明らかにした。

第3章では、界面せん断力を受ける加熱薄液膜流を冷却システムに適用する利点を述べ、とくに気液界面に生じる基礎的な流体现象についてまとめた。また、本論文において、液膜挙動および破断のメカニズムの解明、液膜挙動と熱伝達特性の関係の解明、および **self-wetting** 効果を用いた伝熱促進の有効性の検証の3点を明らかにする目標を定めた。

第4章では、界面せん断力を受ける加熱薄液膜流の実験装置、実験方法およびデータ解析方法についてまとめた。本研究では、これまで実験に用いられていなかった大面積の伝熱面を用い、流れ方向の液膜挙動および熱伝達特性を明らかにすることに大きな意義があることを述べた。

第5章では、非加熱試験および加熱試験を行った結果および考察をまとめた。実験流体は純水と窒素ガスを用いた。液膜流量を一定にし、入口液体温度、気体流量および熱流束を変化させ、液膜挙動の詳細な観察および熱伝達データの取得を行った。

入口液体温度  $40^{\circ}\text{C}$  の条件下では、熱流束を増加させると、上流側非加熱区間と加熱区間との境界近傍において、液体温度が流れ方向に急激に上昇することで、流れと逆方向に **thermocapillary force** が大きくはたらき、液膜が破断する現象が観察された。さらに熱流束を増加させると、三相界面近傍の液膜表面温度が、横断方向矩形ダクト両端部の表面温度よりも高くなるため、**thermocapillary force** が横断方向中央部から両端側にはたらき、乾きが伸展する様子が観察された。また、加熱区間では、流れ方向に乾きの幅が減少する様子が観察された。この乾きの幅の減少は、液体の温度上昇により表面張力が低下したこと、また界面が飽和状態に達し温度が一様になり、**thermocapillary force**

により液膜流をダクト側部へ引き上げる効果が小さくなることが原因であると考えられた。

入口液体温度 80°C の条件下では、テストセクション入口における液膜流と気体流との大きな温度差による対流および液体の蒸発が促進され、その結果、流れ方向の温度負勾配が大きくなり、**thermocapillary force** が流れ方向に強くはたらくため、非加熱時においても液膜が破断する現象がみられた。

局所熱伝達係数は、入口液体温度 25, 40 および 80°C の各条件下において、流れ方向に増加する傾向がみられた。これは、上流側の蒸発により気相速度が増加するため、下流に向かって界面せん断力が増加した結果、液膜厚さが減少したことが原因と考えられた。また、熱流束の増加にともない、上流側の蒸発量が増加するため、同様の理由により、下流に向かって局所熱伝達係数が増加する傾向が顕著となった。また、高熱流束域においても、核沸騰熱伝達の影響により熱流束の増加にともない局所熱伝達係数が増加する傾向が確認できた。気体レイノルズ数を増加させると、界面せん断力が増加し液膜厚さが減少することで **thermocapillary force** による乾きの伸展が生じやすい状況となるため、局所熱伝達係数の減少が確認された。

以上に述べたように、界面せん断力を受ける液膜流では、伝熱劣化につながる液膜の破断および乾きの伸展を引き起こす **thermocapillary force** の影響が大きいことが明らかとなった。

第 6 章では、混合媒体特有の性質のひとつである **self-wetting** 効果を利用することで、伝熱劣化につながる液膜の破断および乾きの伸展を防ぐ効果の有無に関する検証を行った。従来研究では、ヒートパイプやプール沸騰実験において数%以下の超低濃度アルコール水溶液を用いることで伝熱促進が確認されているため、本実験では 3% **n-Propanol** 水溶液を用いた。第 5 章で実施した純水を用いた実験と比較した結果、表面張力の低下および **self-wetting** 効果により液膜の破断は消失し、また伝熱面表面温度が飽和温度以下の非沸騰領域において、伝熱面表面温度の低下が確認され、大きな伝熱促進を生じていることが確認された。伝熱面表面温度が飽和温度以上で核沸騰が観察されている領域では、混合媒体のプール沸騰実験においてもみられる物質拡散抵抗の存在による、伝熱劣化の傾向がみられた。

第 7 章では、本論文の結論として、本研究で得られた成果をまとめた。