

氏名	すずき おさむ 鈴 木 敦
学位の種類	博士 (工 学)
学位記番号	論工博第 3753 号
学位授与の日付	平成 15 年 9 月 24 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 2 項該当
学位論文題目	流体の相変化を利用する半導体デバイスの冷却装置に関する研究

論文調査委員 (主査) 教授 牧野俊郎 教授 小森 悟 教授 吉田英生

論 文 内 容 の 要 旨

パワートランジスタなどの高発熱密度の半導体デバイスの冷却には、流体の相変化を利用する方法が有効である。本論文は、水を冷媒とするヒートパイプと気泡駆動型の熱輸送デバイス・流体アクチュエーターに注目し、その熱輸送特性を調べ、それらを用いる冷却装置の熱設計手法を熱システム工学的に研究した結果をまとめたものであり、8章から構成されている。

第1章は緒論であり、半導体デバイスの冷却装置の構成法について概説し、流体の相変化を利用する冷却装置の特徴とそこで克服すべき技術課題を示し、本研究の意義と目的を示している。

第2～5章では、水を冷媒とするヒートパイプ式冷却装置を対象として、その熱輸送特性の詳細と熱設計手法について検討した。まず、第2章では、ヒートパイプの傾斜や曲げが熱輸送限界に及ぼす影響を実験的に評価し、蒸発部を鉛直に配置し蒸発部と凝縮部の間を曲げる構造のヒートパイプは、同じ高さの直管を傾斜させる場合に比べて、その熱輸送限界が最大で20%高いことを明らかにした。また、傾斜させた直管型のヒートパイプの熱輸送限界は、鉛直配置のヒートパイプの熱輸送限界整理式における重力加速度項を傾斜角に応じて修正すれば、適切に整理されることを示した。

第3章では、水を冷媒とするヒートパイプに固有の課題である水の凍結問題に注目する。ヒートパイプ蒸発部を可視化する実験を行って、冷媒が凍結状態から起動する過程における冷媒の挙動を観測し、そこで得られた知見に基づいて、単管のヒートパイプが凍結状態から正常に起動する限界を評価するモデルを提案し、その妥当性を実験的に検証した。

第4章では、冬季には水が凍結する寒冷地でも所要の冷却能力を発揮する水冷媒のヒートパイプ式冷却装置として、複数のヒートパイプの一部の放熱能力をむしろ低く設定する方式の寒冷地仕様の冷却装置を、システム工学的に考案した。第3章に提案した単管のヒートパイプについてのモデルをもとにして、この冷却装置が凍結状態から正常に起動する限界を評価し、その妥当性を実験的に検証し、考案した冷却装置の熱設計指針を示した。

第5章では、パワートランジスタに取り付けるヒートパイプ式冷却装置の実使用条件下での熱・温度挙動を評価するために、ヒートパイプや放熱フィンを熱伝導要素と見なして、パワートランジスタを含む冷却装置全体の温度分布の過渡挙動を非定常伝熱計算によって調べる手法を提案し、その手法が実用上十分な正確さで有効であることを実験的に検証した。

第6章と第7章では、ヒートパイプにはない特長をもつ新しい熱輸送デバイスの特性を検討した。まず、第6章では、気泡の膨張・収縮を利用して熱輸送する管状の気泡駆動型熱輸送デバイスについて、そのデバイスの諸パラメーターが熱輸送特性に及ぼす影響を、とくにデバイスの温度変動の周期性との相関に注目して実験的に調べ、加熱部で発生する気泡の膨張・収縮がコンテナ内流体を周期的に振動させ、その熱拡散促進効果がこのデバイスの高い熱輸送能力を生み出すことを明らかにした。

第7章では、マイクロヒーターで冷媒をパルス加熱して断続的に気泡を生成し液柱を往復運動させる気泡駆動型流体アクチュエーターについて、ヒーターで加熱されて発生する気泡の成長過程で液柱から気泡に流入するエネルギーに注目し、駆

動される液柱の運動のモデルを提案して、アクチュエーターの基本性能指標である仕事量やエネルギー変換効率を評価することを可能にした。

第8章は結論であり、本研究の成果を要約している。

論文審査の結果の要旨

パワートランジスターなどの高発熱密度の半導体デバイスの冷却には、流体の相変化を利用する方法が有効である。本論文は、水を冷媒とするヒートパイプと気泡駆動型の熱輸送デバイス・流体アクチュエーターに注目し、その熱輸送特性を調べ、それらを用いる冷却装置の熱設計手法を熱システム工学的に研究した結果をまとめたものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

(1) ヒートパイプの曲げや傾斜が熱輸送限界に及ぼす影響を実験的に調べ、蒸発部を鉛直に配置し蒸発部と凝縮部の間を曲げた構造のヒートパイプは、同じ高さの直管を傾斜させる場合に比べて、熱輸送限界が最大20%高いことを明らかにした。また、ヒートパイプや放熱フィンを熱伝導要素と見なす非定常伝熱計算の手法を提案し、パワートランジスターを含む冷却装置全体の実使用条件での熱・温度挙動を、実用上十分な正確さで評価することを可能にした。

(2) 水を冷媒とするヒートパイプ式冷却装置を、冬季には水が凍結する寒冷地でも有効に機能させるために、水が凍結状態から正常な作動状態に至る過程についてのヒートパイプ起動限界評価モデルを提案して、その妥当性を実験的に検証した。また、寒冷地仕様の水ヒートパイプ式冷却装置の構成法をシステム工学的に考案して、その起動限界を評価する方法を提案し、その装置の熱設計指針を示した。

(3) 気泡の膨張・収縮を利用して熱輸送する管状の気泡駆動型熱輸送デバイスについて、そのデバイスの諸パラメーターが熱輸送特性に及ぼす影響を実験的に調べ、そのデバイスにおける優れた熱輸送特性が、加熱部で発生する気泡の膨張・収縮が管内流体を周期的に振動させることにより生じる熱拡散促進効果に起因することを明らかにした。また、冷媒をパルス加熱して断続的に気泡を発生させて液柱を駆動する方式の気泡駆動型流体アクチュエーターについて、駆動される液柱の運動モデルを提案し、仕事量やエネルギー変換効率などのアクチュエーターの基本性能を評価することを可能にした。

以上、本論文は、流体の相変化を利用する半導体デバイスの冷却装置に関して、その熱輸送特性を明らかにするとともに、実際の機器の設計・制御の指針を示すものであり、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成15年7月25日、論文内容とそれに関連する事項について試問を行った結果、合格と認めた。