

Аннотация проекта (ПНИЭР), выполняемого в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 – 2020 годы»

Номер соглашения о предоставлении субсидии (государственного контракта)
14.604.21.0053

Название проекта

Разработка и создание экспериментальных образцов испарительной системы охлаждения для высокопроизводительных вычислительных процессоров и энергоэффективных светодиодных устройств

Тематическое направление

Информационно-телекоммуникационные системы

Исполнитель

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук

Цели и задачи исследования

Разработка и создание двух экспериментальных образцов испарительных двухфазных систем охлаждения высокопроизводительных процессоров и мощных светодиодов с использованием принудительной и естественной циркуляций теплоносителя, теоретическое и экспериментальное исследование механизмов высокоэффективного отвода тепла от полупроводниковых структур

Актуальность и новизна исследования

В настоящее время необходимость отведения высоких тепловых потоков при заданных температурных режимах ограничивает развитие работ по созданию новых высокопроизводительных вычислительных процессоров и мощных светодиодных устройств. Разработка новых способов и устройств для отведения тепла является важным аспектом развития ряда критических технологий.

Одно из разрабатываемых решений - использование коротких микроканалов с двухфазным теплоносителем, обеспечивающих интенсивное испарение в зоне активного тепловыделения при невысоком перепаде давления. Для уменьшения сопротивления теплопередачи охлаждающие микроканалы с двухфазным теплоносителем должны быть расположены в непосредственной близости от тепловыделяющих чипов.

Особенностью испарительной системы охлаждения с естественной циркуляцией является ее конструкция, которая включает интенсифицированный испаритель с капиллярным подсосом, канал достаточного размера для транспорта пара в интегрированный с внешним радиатором конденсатор, где внутреннее оребрение одновременно осуществляет задачу интенсификации теплообмена и капиллярного транспорта конденсируемой жидкости.

Описание исследования

Исследования проводились с использованием следующих методики:

1. Оптическая система для Шлирен-метода, которая позволяет визуализировать и измерять деформации на поверхности жидкости в двух взаимно

перпендикулярных направлениях высокоскоростной камерой. Система позволяет визуализировать и измерять деформации поверхности жидкости в диапазоне от -3.1° до $+3.1^\circ$, с точностью 0.03° .

2. Конфокальный метод. Используется для измерения расстояния до поверхности пленки по анализу интенсивности отражённого от неё света. Основные параметры: расстояние, на котором может производиться измерение от 10 мм до 60 мм, чувствительность 60 нм.

3. ЛИФ (метод лазерно-индуцированной флуоресценции) – основан на возбуждении растворённого в жидкости флуорофора (Родамин 6 G) с помощью лазера. Переизлучённый флуорофором свет регистрируется цифровой камерой после чего по полученным данным производится восстановление мгновенного распределения толщины пленки жидкости со свободной границей.

4. Скоростная высокоточная теневая методика. Представляет собой оптическую систему, состоящую из источника света и скоростной видеокамеры. В качестве источника света используется мощный светодиод и система линз, которая на выходе образует параллельный пучок света. Для обработки изображений используется программа Drop Shape Analysis от компании KRUSS. Для улучшения пространственного разрешения вплоть до 0.5 мкм/пиксель используются фотокамера NIKON D300S с макро объективом Nikon 105mm f/2.8G IF-ED AF-S VR Micro-Nikkor и специальные фотографические меха, которые позволяют получать изображение с масштабом до 10:1

Результаты исследования

Выполнены экспериментальные исследования теплообмена и критического теплового потока от нагревателя размером 10x10 мм в канале высотой от 0.1 до 2.0 мм в зависимости от расхода жидкости и газа, высоты канала, а также угла наклона канала. Показано, что пороговый тепловой поток и температура нагревателя, при которых возникает первое сухое пятно, зависят от числа Рейнольдса жидкости, но, практически, не зависят от скорости газа, высоты канала и угла наклона рабочего участка. Проанализирован локальный коэффициент теплоотдачи.

В экспериментах было достигнуто рекордное значение критического теплового потока 1,2 кВт/см². Такой критический тепловой поток для пленки воды, движущейся под действием потока газа, был достигнут при массовом расходе воды 175 кг/м²с. При этом критический тепловой поток для кипения недогретой воды в мини-канале при том же массовом расходе жидкости достигает значения 170 Вт/см². Для достижения теплового потока 1,2 кВт/см² при кипении воды в мини-канале массовый расход жидкости должен составить 7000 кг/м²с, что в 40 раз превышает массовый расход в нашем эксперименте.

Создан новый экспериментальный стенд для исследования теплоотвода от локального источника тепла, моделирующего кристалл светодиода. Выполнены экспериментальные исследования процессов испарения и кипения в модели мощного светодиодного устройства диаметром 1, 1.6, 5 и 10 мм с естественной циркуляцией теплоносителя. Проведены систематические исследования по

изучению теплообмена в горизонтальном слое жидкости с локальным нагревателем.

В результате выполненной экспериментальной работы установлена возможность отвода плотностей теплового потока в системе охлаждения одиночного мощного светодиода до 2500 Вт/см². Причем оптимальное охлаждение при нагреве полупроводникового кристалла светодиода до температуры не выше 120 °С возможно для плотностей тепловых потоков до 1000 Вт/см². Показана целесообразность использования насадок с радиальным оребрением на нагреватель диаметром 1 мм. Рекомендовано поддерживать уровень заливки жидкости над нагреваемой поверхностью в термосифоне не менее 10 мм.

Практическая значимость исследования

Проблема охлаждения микроэлектроники становится в наши дни одной из актуальнейших проблем теплофизики. Электронная промышленность уже сегодня готова производить микропроцессоры, где плотность теплового потока может достигать величины 500 Вт/см² и более. Существующие решения не позволяют осуществить эффективное охлаждение таких компонентов, что является технологическим барьером, ограничивающим дальнейшее развитие электронно-вычислительных систем. Испарительная система с принудительной циркуляцией может быть использована для охлаждения сверхвысокопроизводительных процессоров суперкомпьютеров и электроники специального назначения. Более простая модификация этой системы может быть использована в автомобильной промышленности для охлаждения мощных светодиодов, так как в автомобилях уже имеется встроенная циркуляционная система. Использование предлагаемой испарительной системы охлаждения светодиодов даст увеличение срока службы светодиода до 10 лет, при этом качество света остаётся стабильным, т.к. светодиод не перегревается. В настоящее время на рынке представлены классические светодиодные лампы на 220 вольт относительно малой мощности. По данным специалистов индийской фирмы Де Кор Наносемикондактарс большие перспективы имеет классическая лампочка, выполненная из светодиодов повышенной мощности. В этом случае необходимо использовать жидкостное испарительное охлаждение. Предлагаемая система охлаждения с естественной циркуляцией позволит занять пустующую нишу. Разрабатываемая в проекте испарительная система с принудительной циркуляцией может быть использована для охлаждения микропроцессоров высокопроизводительной вычислительной техники: суперкомпьютеров, а также нового поколения рабочих станций, серверов и персональных компьютеров. Перспективность применения предлагаемой системы охлаждения на российском рынке в данный момент оценивается от сотен, до тысяч экземпляров в год. Результаты ПНИ можно использовать для разработки новых энергоэффективных испарительных систем охлаждения теплонапряженных компонентов электронных и технических устройств, а также в системах теплового регулирования космической техники.