

Создание новых систем охлаждения светодиодов высокой мощности для повышения надежности и долговечности

Соглашение № 14.613.21.0067 в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса на 2014-2020 годы»

Приоритетное направление: Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика

Период выполнения: 03.10.2017- 31.12.2019

Отчетный период: 03.10.2017 – 31.12.2017

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

Иностранные партнеры: Indian Institute of Technology Kanpur (ИТК), Канпур, Индия; State Key Laboratory of Multiphase Flow in Power Engineering (SKLMFPE), Xi'an Jiaotong University, Сиань, Китай

Цели выполнения прикладных научных исследований

Создание научно-технического задела по созданию эффективных систем охлаждения для высокопроизводительных электронных устройств и мощных светодиодов, также создание систем ускоренного тестирования жизненного цикла светодиодных устройств.

В ходе выполнения проекта по Соглашению о предоставлении субсидии от 03.10.2017г. № 14.613.21.0067 с Минобрнауки России в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы» на этапе № 1 в период с 03.10.2017 г. по 31.12.2017 г. выполнялись следующие работы:

Подписано дополнительное соглашение об установлении объемов работ по проекту к Соглашению с иностранными партнерами о выполнении совместного проекта.

Сделан аналитический обзор современной научно-технической, нормативной, методической литературы, затрагивающей научно-техническую проблему, исследуемую в рамках исследований, в том числе обзор научных информационных источников: статьи в ведущих зарубежных и (или) российских научных журналах, монографии и (или) патенты) - не менее 15 научно-информационных источников за период 2010 – 2016 гг.

Проведены патентные исследования в соответствии с ГОСТ 15.011-96.

Обоснован выбор направления исследований.

Произведена модернизация экспериментального стенда для исследования процессов испарения на линии контакта парогазового пузыря на поверхности с контролируемым равномерным нагревом.

Проведено экспериментальное исследование динамики контактной линии, появляющейся между парогазовым пузырем и подложкой с контролируемым равномерным нагревом.

Произведена модернизация экспериментального стенда для изучения динамики удлиненного мениска.

Проведено экспериментальное исследование динамики жидких мостов на обогреваемой прозрачной поверхности с использованием экспериментального стенда для изучения динамики удлиненного мениска.

Проведены локальные измерения температуры вблизи контактной линии с помощью микротермопар с использованием экспериментального стенда для изучения динамики удлиненного мениска.

Разработана математическая модель движения одиночного пузыря в микроканале.

Проведены расчеты по тепломассообмену, динамике, испарению и движению одиночного пузыря в микроканале.

Государственной ключевой лабораторией многофазных течений в энергетике Сианьского университета (SKLMFPE):

Проведены экспериментальное исследование характеристик динамики контактной линии, моделирование движения контактной линии при высоких тепловых потоках и выявление механизмов влияния температуры, фазового перехода и электрического поля.

Индийским технологическим институтом Канпура (ИТК):

Создана технология изготовления массивов сопел для микроспрейного охлаждения.

При этом были получены следующие результаты:

В аналитическом обзоре рассмотрено 152 источника. Выявлено, что существует несколько ключевых нерешенных задач: влияние количества витков на интенсификацию теплообмена, важность протяженности участков с тонкой пленкой жидкости. Детальное изучение гидродинамики и взаимосвязь с общим теплообменом не обобщены. Анализ показывает, что системы охлаждения светодиодных ламп на основе пульсирующей тепловой трубы позволяют достичь большого коэффициента теплопередачи на конвективной поверхности, большого теплового потока, высокой эффективности излучения, длительного срока службы и высокой надежности, а также позволяют передавать тепло под большим углом на большое расстояние вне зависимости от силы тяжести.

Проведено обоснование выбора направления исследований. В данном проекте будут созданы две системы охлаждения: 1) на основе пульсационной тепловой трубы (ПТТ) нового типа с возможностью отведения тепловых потоков до $0,5 \text{ кВт/см}^2$ и 2) на основе прямого охлаждения гибридной пленочно-капельно-газовой микроканальной системой для светодиодов с высоким тепловым потоком вплоть до $1,5 \text{ кВт/см}^2$.

Проведено экспериментальное исследование динамики контактной линии, появляющейся между парогазовым пузырем и подложкой с контролируемым равномерным нагревом. С помощью теневого метода получены изображения профиля парогазового пузыря. Показано, что под воздействием теплового потока увеличивается объем пузыря и протяженность контактной линии.

Проведено экспериментальное исследование динамики жидких мостов на обогреваемой прозрачной поверхности с использованием экспериментального стенда для изучения динамики удлиненного мениска. Показано, что средний диаметр жидкого моста уменьшается линейно, а верхний и нижний диаметры основания уменьшаются до критического значения. Затем наблюдается пиннинг (закрепление линии контакта трех фаз) на верхней и нижней пластинах, а высота жидкого моста увеличивается. Критический средний диаметр перед разрывом моста составил 1 мм при скорости передвижения пластины 40 мкм/с и исходном объеме воды 21 мкл для подложки ВК7 с исходным краевым углом смачивания 40° гистерезисом краевого угла смачивания 25° . Для стеклянной поверхности, покрытой фоторезистом NOA65 выявлено изменение значения наступающего краевого угла смачивания в зависимости от температуры подложки, в то время как величина гистерезиса краевого угла не меняется. Диапазон исследованных температур от 23°C до 88°C . Для стеклянной поверхности ВК7 без покрытия при температуре поверхности

88 °С получено, что при определенном значении объема жидкости наблюдается пиннинг контактной линии.

Температура в газовой фазе вблизи границы раздела жидкость-газ всегда была выше, чем в жидкости на границе раздела. Измеренная разность температур на границе раздела и скорости испарения намного выше, чем для воды.

Найдено, что значение межфазного термического сопротивления является относительно высоким $1,6 \text{ см}^2 \text{ К/Вт}$ для скачка температуры порядка $0,1 \text{ К}$.

Разработана математическая модель движения одиночного пузыря в микроканале. Учтено расклинивающее давление связанное с действием сил Лондона-Ван дер Ваальса.

Проведены расчеты по тепломассообмену, динамике, испарению и движению одиночного пузыря в микроканале. Показано, что при увеличении температуры переходный слой движется быстрее из-за испарительной потери массы. Чем больше локальное увеличение температуры, тем быстрее движется переходный слой. В результате можно ожидать увеличения длины пузыря.

В ходе реализации проекта состоялся визит партнеров из Китая в Россию в рамках международной конференции 11-16 сентября 2017, организованной ИТ СО РАН. Поданы 2 совместные статьи, а также запланированы еще 2 статьи по результатам проекта.

Состоялся визит ведущего эксперта в области пульсационных тепловых труб Самира Кандекара (руководителя проекта из Индии) в Новосибирск 10–16 декабря 2017. В ходе своего визита профессор сделал лекцию для широкой аудитории ИТ СО РАН. Запланированы 2 совместные статьи по результатам исследований и обсуждений.

В ходе выполнения проекта принято участие в 3 мероприятиях, направленных на освещение и популяризацию результатов, опубликовано 3 научные статьи, в изданиях индексируемых в Web of Science.

Получателем субсидии за отчетный период по этапу 1 выполнены все работы в соответствии с Требованиями к работам и их результатам, Плана-графика исполнения обязательств, требованиям по достижению значений показателей результативности, отчетная документация оформлена в надлежащем порядке. Обязательства, указанные в пункте 1.3 и 3 соглашения по 1 этапу исполнены надлежащем образом и в полном объеме.

Поставленные на первый этап исполнения проекта задачи полностью решены.