

ИСПАРЕНИЕ КАПЕЛЬ ЖИДКОСТИ НА ПОВЕРХНОСТЯХ МЕТАЛЛОВ

Тимофеева О.Б., Гулькин К.Н., Бондарчук С.П., Лага Е.Ю.

*Томский политехнический университет,
ИШФВП, гр. ОБМ31*

Научный руководитель: Д.В. Феоктистов, к.т.н., доцент ИШФВП ТПУ

В связи с интенсивным развитием микроэлектронных устройств, особенно остро в последние несколько десятилетий стоит проблема отвода тепловых потоков высокой плотности от теплонагруженных элементов современных устройств и оборудования [1].

Системы охлаждения могут базироваться на разных технологиях. Некоторые системы охлаждения используют однофазные потоки, но они неэффективны для охлаждения устройств и оборудования, выделяющего тепловые потоки, превышающие 100 Вт/см^2 [1]. Вместо этого, исследователи предложили использовать системы двухфазного жидкостного охлаждения, такие как двухфазные термосифоны, спрейное охлаждение, вскипание потока в канале. В этих системах теплообмен происходит в режиме кипения или испарения (без кипения теплоносителя). Системы спреевого охлаждения являются наиболее эффективными, так как они способны отводить тепловые потоки высокой плотности и поддерживать равномерную температуру поверхности. Это достигается за счет использования мелких капель жидкости с большим отношением поверхности к объему, которые покрывают значительную площадь поверхности [2].

Поэтому исследование процессов испарения «лежащих» капель, особенно при высоких температурах поверхности, актуально с точки зрения отвода тепловых потоков высокой плотности от современного микроэлектронного оборудования.

Известно, что гидрофильные и гидрофобные свойства поверхностей нагрева влияют на процесс испарения и кипения теплоносителей. Для получения бифильных поверхностей применялись различные методы, однако долговечность покрытий, получаемых этими методами, недостаточна. Сложная и дорогостоящая конструкция и низкая долговечность препятствовали широкому использованию этих поверхностей [3].

В настоящем исследовании предложен новый подход к созданию бифильных поверхностей с помощью лазерной обработки и гидрофобизации. Кроме того, выполнен анализ влияния различных конфигураций текстуры на скорость испарения капель и на процесс пузырькового кипения.

Анализ текстуры проводился методом электронной микроскопии, трехмерные параметры шероховатости текстуры определены методом конфокальной микроскопии с использованием лазерного сканирующего микроскопа. На рис. 1 представлена установка по исследованию свойств смачивания поверхностей АМг-2 и процесса испарения капель воды.

Свойства смачивания определялись по значению статического контактного угла (θ_0) и угла скатывания (θ_{roll}) с использованием оборудования теневого оптического метода. Исследование процессов зарождения, роста и разрушения пузырей в капле осуществлялось с помощью оборудования верхней оптической системы. Статические контактные углы измерены в условиях дозирования на поверхности образцов капель дистиллированной воды объемом 5 мкл с погрешностью ± 0.01 мкл. Погрешность определения статического контактного угла и угла скатывания не превышала 5 %.

Исследования проводились на образцах в форме пластин из алюминиевого сплава АМг-2 размерами $30.0 \times 30.0 \times 2.0$ мм. Использовалось пять групп образцов, различающихся свойствами смачивания (гидрофильные, супергидрофильные, супергидрофобные, бифильные (супергидрофобных/ супергидрофильные), бифильные (гидрофильные/ супергидрофильные)).

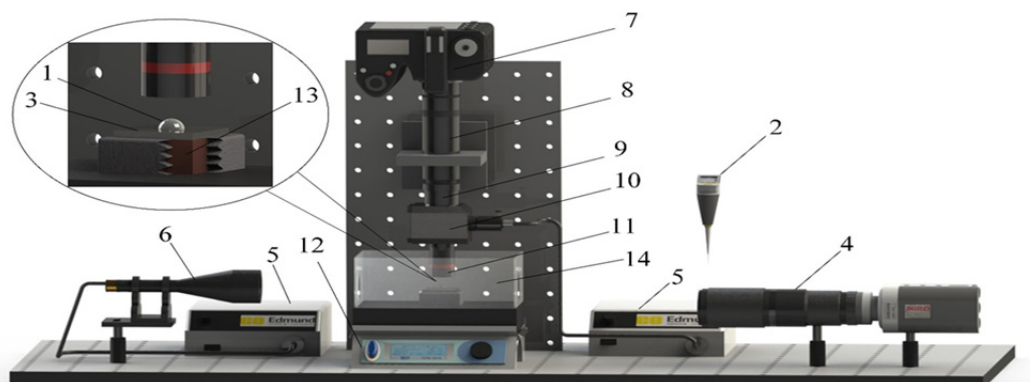


Рис. 1. Экспериментальная установка:

1 – капля; 2 – дозатор; 3 – образец; 4 – высокоскоростная видеокамера, оснащенная макрообъективом; 5 – источник света; 6 – телецентрическая оптическая труба; 7 – фотоаппарат; 8 – переходник; 9 – кольцо; 10 – делитель пучка; 11 – объектив; 12 – стеклокерамическая плита; 13 – медный параллелепипед; 14 – бокс

По результатам проведенных экспериментальных исследований процессов испарения и кипения капли воды на поверхностях с различными свойствами смачивания (гидрофильная полированная, супергидрофильные и супергидрофобная с развитой иерархической текстурой, бифильные с комбинацией свойств смачивания гидрофильность / супергидрофильность, бифильные с комбинацией экстремальных свойств смачивания супергидрофобность / супергидрофильность) получены следующие выводы:

1) Комбинация гидрофильных и супергидрофильных свойств на бифильных поверхностях более предпочтительна по сравнению с комбинацией экстремальных свойств смачивания.

2) Выбор дизайна (конфигурации и расположения) поверхности, участки которой демонстрируют различными свойствами смачивания, оказывает влияние не только на интенсивность испарения теплоносителя, но в случае экстремальных свойств смачивания на бифильных поверхностях, является основным фактором формирования сухих пятен за счет разрушения паровых пузырей на супергидрофобной части поверхности.

3) На бифильных поверхностях с комбинацией гидрофильных (полированные участки) и супергидрофильных (концентрические кольца, полученные текстурированием лазерным излучением) свойств режимы испарения капель теплоносителей и их последовательность подобны аналогичным характеристикам на полированных гидрофильных поверхностях металлов.

4) Комбинация гидрофильных и супергидрофильных свойств на бифильных поверхностях в сравнении с полированными поверхностями металлов значительно влияет на длительность режимов испарения.

6) Супергидрофильные свойства обеспечивают наибольшее охлаждение поверхности. Однако, при дозировании капли воды на супергидрофильную поверхность жидкость полностью впитывается в микро- и нанотекстуру, размерами капли, в частности, площадью смачивания, невозможно управлять.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РНФ в рамках научного проекта № 23-29-00417, (<https://rscf.ru/project/23-29-00417/>)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Xia Y., Gao X., Li R. Surface Effects on Sub-Cooled Pool Boiling for Smooth and Laser-Ablated Silicon Surfaces // Int. J. Heat Mass Transf. – 2022. – V. 194. doi:10.1016/j.ijheatmasstransfer.2022.123113.
2. Gao X., Li R. Spray Impingement Cooling: The State of the Art // Intech. – 2016. – V. 11. – P. 13.
3. Atmosphere-Mediated Scalable and Durable Biphilicity on Rationally Designed Structured Surfaces / X. Yan; F. Chen, X. Zhang et al. // Adv. Mater. Interfaces. – 2020. – V. 7. – P. 1–14. doi:10.1002/admi.202000475.