

ИСПАРЕНИЕ БИНАРНЫХ ПИКОЛИТРОВЫХ КАПЕЛЬ НА МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ПОДЛОЖКЕ

В. И. Саверченко, С. П. Фисенко, Ю. А. Ходыко

*Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси.
220072, г. Минск, ул. П. Бровки, 15.*

Классическая задача об испарении каплей жидкости на твердой подложке не теряет актуальности и сегодня, несмотря на большую историю исследования. Интерес к ней в основном связан с новыми приложениями. В частности, это и новые перспективные методы получения наночастиц из коллоидных растворов [1], и задачи из биофизики и медицины [2, 3].

В работе экспериментально и теоретически исследовано испарение неподвижной пиколитровой бинарной капли на металлической подложке при пониженном давлении. Пониженное давление паров в системе позволяет существенно интенсифицировать процесс испарения капли. Экспериментальное исследование проводилось на оригинальной установке, представленной на рис. 1.

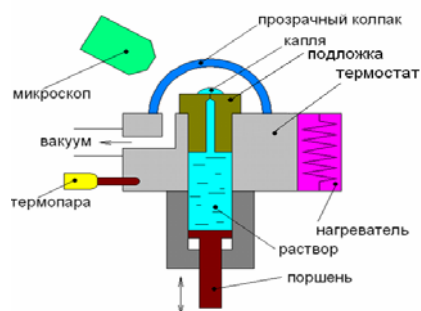


Рис. 1. Схема установки для исследования испарения капли

Исследуемая капля выдавливается через отверстие диаметром около 10 мкм в латунной подложке под прозрачный колпак. Установка разработана таким образом, что образование капли производится на одном и том же месте подложки. В экспериментах исследованы капли с диаметром основания 150 мкм в виде бинарного раствора – водного раствора этанола различной концентрации. Регистрация испарения происходит при помощи цифрового оптического микроскопа “Digital Blue” фирмы QXS при увеличении $\times 60$. Процесс испарения фиксировался на видео (рис.2).

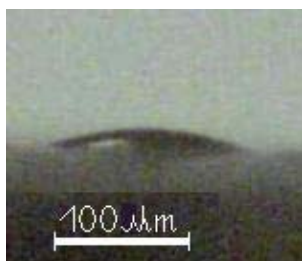


Рис. 2. Капля водного раствора этанола высотой 10 мкм.

На рис. 3 показаны экспериментальные результаты влияния концентрации этанола в капле на среднюю скорость испарения пиколитровой капли на металлической подложке, обеспечивающей достаточно большой подвод тепла к испаряющейся капле. Измерения

проводились при относительной влажности воздуха 55% и при полном давлении в системе 60 Тор. Температура подложки была равна температуре воздуха в комнате и составляла 301 К. Визуализация процесса испарения капли показывает, что скорость испарения резко увеличивается, когда максимальная высота капли уменьшается до несколько микрон [3]. Физическая причина ускорения скорости испарения состоит в том, что кондуктивная теплопроводность в жидкости успевает подводить тепло от подложки к фронту испарения капли. Также в наших экспериментах по быстрому испарению капли наблюдался пинниг-эффект, когда диаметр основания капли остаётся практически неизменным, а высота капли уменьшается, вследствие чего испаряющаяся капля превращается в практически цилиндрический объект.

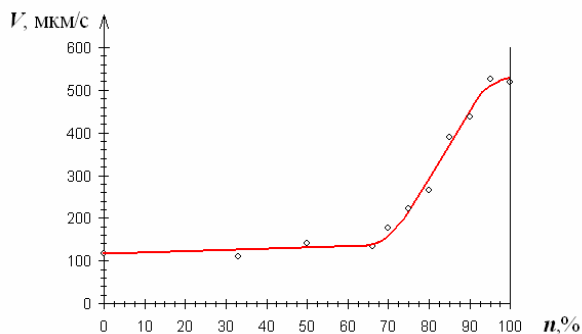


Рис. 3. Зависимость скорости испарения каплей раствора этанола от концентрации в ней спирта

Математическая модель испарения пиколитровой капли в свободномолекулярном режиме, развитая нами в [4], обобщена на случай испарения бинарных капель. На рис. 4 показаны результаты численного расчета испарения капель воды и чистого этанола одинаковой максимальной высоты. Расчет проводился для давления в 60 Тор, эффективной начальной высоте капли 5 мкм, температура окружающей каплю газовой смеси и температура подложки составляют 300 К. Видно, что скорость испарения резко увеличивается при $h \sim 2$ мкм.

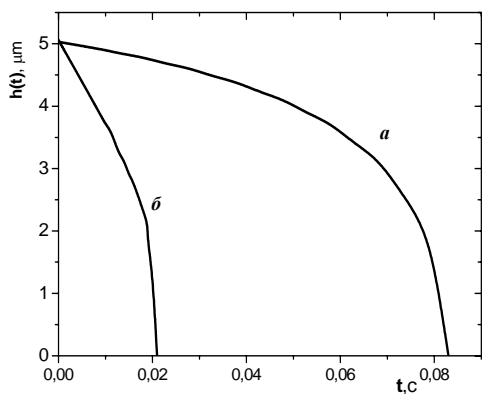


Рис. 4. Изменение параметров микронной капли при испарении (температура подложки 300 К): а – испарение капли воды; б – испарение капли этанола

Из результатов расчета также следует, что средняя скорость испарения капли этанола в 4 раза выше скорости испарения капли воды, что хорошо коррелирует с экспериментальными данными на рис. 3. Интересно отметить, что температура поверхности чистого этанола падает до 260 К, а чистой воды всего до 298 К.

Заключение. Разработана и создана установка по испарению капли на твердой подложке при пониженном давлении и проведены эксперименты по испарению с пиколитровой каплей водного раствора этанола различной концентрации. Выполнена визуализация процесса испарения на цифровую камеру. Экспериментально установлено, что увеличение концентрации этанола увеличивает скорость испарения капли, данный вывод подтверждается и численным расчетом. Наблюдался существенный пиннинг-эффект при испарении капли. Теоретические оценки показывают, что доминирующим механизмом передачи тепла в пиколитровой капле является теплопроводность, а вязкая диссипация эффективно подавляет все возникающие конвективные потоки. Разработана математическая модель испарения пиколитровой бинарной капли на подложке для случая, когда процессы переноса в газовой фазе идут в свободномолекулярном режиме, приведены результаты расчетов.

Обозначения

h – высота капли, мкм;

Литература

1. Narayanan S., Wang J., Lin X.-M. Dynamical self-assembly of nanocrystal superlattices during colloidal droplet evaporation by *in situ* small angle X-ray scattering // Phys. Rev. Lett. 2004. Vol. 93, (135503).
2. Яхно Т. А., Козаков В. В., Санина О. А., Санин А. Г., Яхно В. Г.. Капли биологических жидкостей, высыхающие на твердой подложке: динамика морфологии, массы, температуры и механических свойств // ЖТФ. 2010. Т. 80, вып. 7. Сс. 17 – 23.
3. Тарасевич Ю.Ю., Православнова Д.М.. Качественный анализ закономерностей высыхания капли многокомпонентного раствора на твердой подложке // ЖТФ. 2007 .т.77. вып.2. Сс.17-21.
4. Саверченко В.И., Фисенко С.П., Ходыко Ю.А. Испарение пиколитровой капли на смачиваемой подложке при пониженном давлении // ИФЖ. 2011. Т. 84, №4. Сс. 670 – 675.