

液滴蒸发残留溶质图案的理论研究

含有非挥发性溶质的液滴干燥后，会产生丰富多样的沉积图案。最著名的就是“咖啡环”图案，即液滴中大部分颗粒在液滴干燥后会集中在液滴初始接触线附近。另外，液滴干燥后颗粒还可能会沉积在液滴中心而形成“山状”的图案。实验上还观察到“多环”、“火山状”等等各种各样的沉积图案。怎样控制液滴蒸发后残留溶质在衬底上的图案是工业制造中一个关键问题之一，尤其是在喷墨打印技术上。然而到目前为止，还没有一个普适的对此类问题的理论解释。

满兴坤副教授和土井正男教授基于Onsager变分原理，提出了包含液滴内部流体运动模式和液滴接触线运动模式的理论模型，成功预测了在各种不同条件下，非挥发性溶质在衬底上的密度分布情况[1]。理论研究表明，可以通过调控液滴接触线与衬底的摩擦系数以及液滴蒸发速率，来实现沉积图案连续的从“咖啡环”到“火山状”再到“山状”结构的变化。

当接触线与衬底的摩擦系数很大时，接触线几乎不会动，以至于液滴内部流体把溶质带到接触线附近沉积而形成“咖啡环”；相反，当接触线与衬底无摩擦时，接触线可以自由滑动，并且导致液滴内部流体流向中心。此时，流体的速度大于接触线收缩的速度，以至于流体可以把大部分的溶质带到中心而形成“山状”结构；当接触线摩擦系数介于零和无穷大之间时，接触线收缩速度会在某一时刻赶上流体的运动速度，导致液滴中间成环而形成“火山状”。火山形状的顶点位置还取决于液滴蒸发速率的快慢，即随着蒸发速率的减慢，顶点的位置往液滴中心运动。

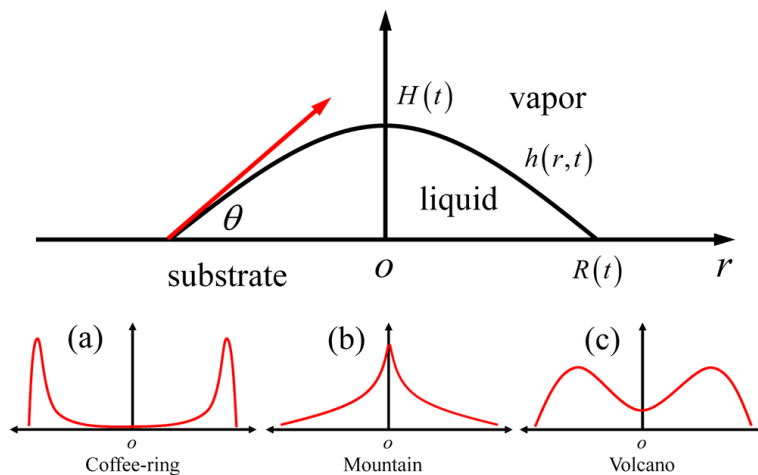


图1 液滴蒸发后三种不同残留物结构示意图

满兴坤，物理科学与核能工程学院，副教授，软物质物理及其应用研究中心，
E-mail: manxk@buaa.edu.cn

土井正男，物理科学与核能工程学院，教授，软物质物理及其应用研究中心，外
专千人，E-mail: Masao.doi@buaa.edu.cn

参考文献

[1] Xingkun Man, Masao Doi, Ring to Mountain Transition in Deposition Pattern of
Drying Droplets, Phys. Rev. Lett. 116, 066101 (2016).